משרד החינוך התרבות והספורט
המינהל הפדגוגי
תל האגף לתוכניות לימודים האגף לשירותי חינוך ורווחה
האגף למדע ולטכנולוגיה

משרד העבודה והרווחה
האגף להכשרה ולפיתוח כוח אדם
מאה המכון לאמצעי הוראה

אופטיקה גיאומטרית

פרוייקט ניסויי פעימ"ה (פיסיקה פעלתנית יחידנית בשירות המקצוע)

החזרת אור
שבירת אור
עדשות ומראות במכשירים אופטיים

תשנ"ו - 1995

כתיבה: ד"ר יברכיהו עמי

שכתוב: ד"ר יברכיהו עמי
ד"ר אשר אליקים
גב' גופר דבורה
מר סמדג'ה דני

ייעוץ מדעי ופדגוגי: ד"ר כץ ישראל
ריכוז הפרוייקט: גב' גופר דבורה
ריכוז הניסוי והנחיה: מר סמדג'ה דני

ועדת היגוי: פרופ' לוי אהרן - יו"ר
מר אלמוג חיים
ד"ר אשר אליקים
מר ברבי יואב
גב' גופר דבורה
ד"ר חושן אהוד
ד"ר יברכיהו עמי
ד"ר כץ ישראל
מר מיכאלי איתן
מר מלצ'וק יעקב
מר סלע דוד
מר סמדג'ה דני
פרופ' פינגולד מנחם
מר צוהר קלמן
ד"ר שרגאי יעקב

גרפיקה: חן חנה
עריכה לשונית: פרידמן יפה
סדר מחשב: נדב פנינה

הפקה: פינצי בתיה

©
כל הזכויות שמורות
תשנ"ו - 1995

הכנה:
המכון לאמצעי הוראה מאה המחלקה להוצאת ספרים
צילום, הדפסה והפצה:
המרכז לחינוך טכנולוגי, רח' גולומב 52, חולון
טלפון: 03-5026575-6 פקס: 03-5026580

הנחיות ללימוד הנושאים שבחוברת

קרא בעיון!

לפניך חוברת ראשונה ללימוד הנושא "אופטיקה" (תורת האור) בשיטה פעלתנית יחידנית (פעימ"ה). החוברת הוכנה על-פי שיטות הוראה המדגישות את הפעלתנות סביב ניסוי או מכשיר, בדרך של לימוד יחידני, שתתאים לקצב התקדמותך האישית. התוכנית בנושא האופטיקה מורכבת מסדרת חוברות המכילה דוגמאות רבות מתחום המקצוע. כך תוכל ללמוד פיסיקה הקשורה באופן ישיר למקצועך. יתר על כן, בשיטת הלימוד הפעלתני, אתה אמור לבצע ניסויים, לנתח אותם ולהגיע למסקנות, וכן לצפות בסרטונים, בסרטים ובשקפים הנוגעים לחומר הלימוד. נפנה אותך לפעילויות השונות באמצעות סימונים מיוחדים שיחזרו על עצמם בכל החוברות.

בתחילת החוברת תמצא:

א) הנחיות ללימוד הנושאים המופיעים בחוברת זו.

ב) מפתח לסימוני ההפניה.

כמו כן תמצא בתחילת כל פרק תרשים, המדגים את מהלך נושא הלימוד ופירוט מטרותיו.

חוברת הלימוד מיועדת לך אישית. קרא בה בעיון וענה על השאלות בגוף החוברת. תמצא בה גם הוראות לעריכת ניסוי, להקרנת סרט או לביצוע פעילות אחרת. החוברת מדריכה אותך לפעול ולחשוב ועליך להשתמש בה במהלך השיעור כולו.

בצע את כל שלבי הלימוד העצמי ואת הפעילויות השונות עם בן זוגך. מותר לכם לחשוב יחד, להתייעץ (בלחש) עם חברים אחרים ולסכם בעל-פה את שברצונכם לכתוב בחוברת.

איש אינו לוחץ עליך! קבע לעצמך את קצב הלימוד בהתאם ליכולתך. אל תיחפז לשאול את חבריך או את המורה אם אינך מבין דבר מה. המורה יעזור לך בעת הצורך.

מפתח לסימוני ההפניה שביחידה:

שים לב, זכור, נסכם וכו'.

פנה לעזרים אורקוליים. קרא ההוראות לפני ההקרנה, כדי שתוכל למלא אחריהן מיד עם סיומה.

פנה לספרות לשם הרחבת הלימוד, וענה על השאלות.

הפניה לניסוי המופיע בתמרור. לדוגמה: או"ג 1 פירושו ניסוי אופטיקה גיאומטרית מספר 1. בצע את הניסוי, הסק מסקנות ורשום אותן מיד.

הנך מרגיש שהחומר נהיר לך - פנה אל המורה לקראת מבחן.

בצע את המטלה שלפניך.

ב ה צ ל ח ה ! !

תוכן העניינים

פרק 1: מבוא

1.א הקדמה 9
1.ב כיצד מתפשט האור? 11

פרק 2: החזרת האור

2.א חוק ההחזרה של האור 19
2.ב החזרה במראות מישוריות 22
2.ג מראות כדוריות 35
2.ד מראות פרבוליות 60

פרק 3: שבירת האור, חוק השבירה

3.א תופעת השבירה וחוק סנל 67
3.ב מנת השבירה 71
3.ג החזרה פנימית גמורה 77
3.ד שימושים בהחזרה פנימית גמורה 82

פרק 4: עדשות

4.א עדשות מרכזות ועדשות מפזרות 89
4.ב יצירת דמויות באמצעות עדשות דקות 100
4.ג נוסחת העדשות הדקות 107

פרק 5: עדשות ומראות במכשירים אופטיים

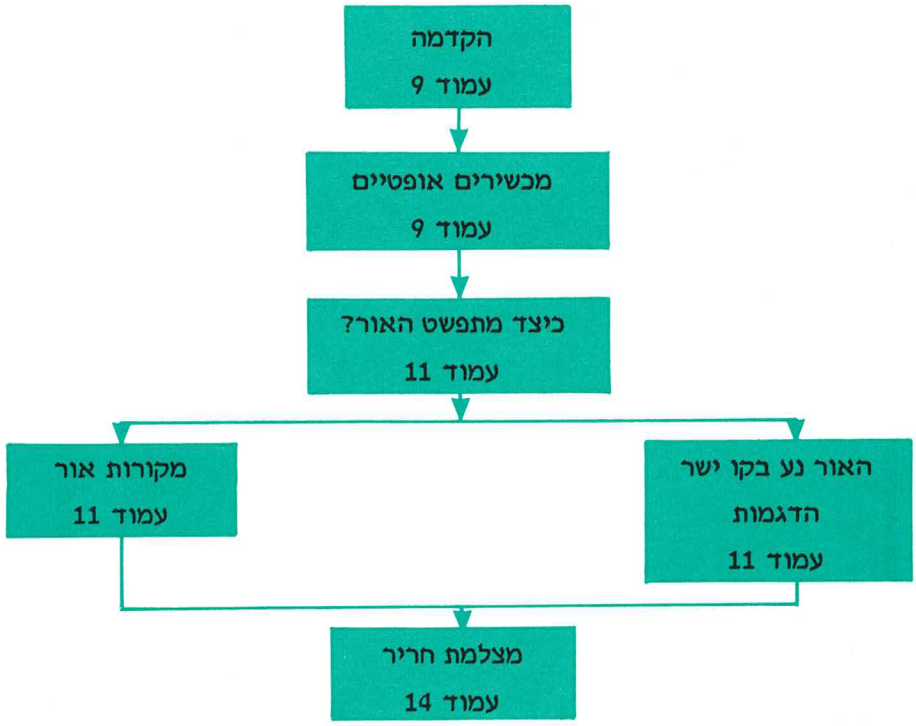
5.א העין 117
5.ב ליקויי ראייה ותיקוניהם 122
5.ג זכוכית מגדלת 125
5.ד מיקרוסקופ 127
5.ה טלסקופ 130
5.ו משקפת שדה 134
5.ז מצלמה 136
5.ח מקרן שקופיות 137
5.ט אפיסקופ 138
5.י נורה ופנס קדמי במכונית 139

פרק 1

מבוא

פרק 1 - מבוא

תרשים מהלך נושא הלימוד



בסיום פרק זה אתה אמור:

1. לדעת מהו המושג "קרני אור"
2. לדעת כי האור מתפשט בקווים ישרים.
3. להבחין בין עצמים שהם מקורות אור ובין עצמים שהם מחזירי אור.
4. להבחין בין מקור אור רגיל לבין מכשיר לייזר.
5. להכיר את עקרון הפעולה של מצלמת חריר.
6. להכיר את מושג הצל.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלה אמנם הושגו

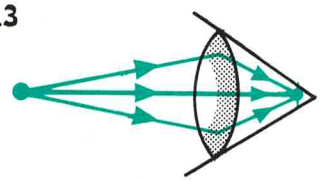
1.א הקדמה

1. כיצד אנו רואים את העצמים הנמצאים סביבנו?
הראייה נוצרת כאשר **אור** יוצא מעצם מסוים אל העין. האור הפוגע בעין, יוצר בתוכו, בעזרת העצבים שבעין, את התחושה של ראיית העצם.

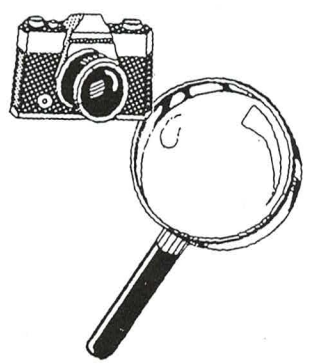
2. לפניך רשימה של עצמים, סמן במעגל איזה מהם יוצא דופן? א
1. נורת חשמל 2. שולחן 3. נר 4. כוכב מאיר

2 ב העצמים שברשימה, פרט לשולחן, הם **מקורות של אור**. הם נראים לעינינו כתוצאה מאור עצמי הבוקע מהם.
השולחן בדומה לרוב העצמים האחרים, אינו מקור עצמי של אור.
מקור האור החזק ביותר המיועד להאיר גופים הוא _____ (1)
(השמש/הירח/הכוכבים). בעזרתו אנו רואים את העצמים במשך
_____ (2) (הלילה/היום).

3. בהמשך נלמד תכונות שונות המאפיינות את מהלך האור. תכונות אלה מנוצלות לבניית מכשירים כגון משקפיים, משקפות, טלסקופים, המסייעים לנו לראות גופים או לצפות בהם. מכשירים אלה נקראים מכשירים אופטיים (אופטיקה היא מלה לועזית שפירושה תורת האור).



4. הקף במעגל את המספרים של שמות המכשירים, המבוססים על תכונות של אור והנמצאים ברשימה זו:
1. מצלמה 2. זכוכית מגדלת 3. משקפיים 4. מיקרוסקופ 5. טלסקופ 6. משקפת 7. מכשיר לייזר 8. מקרן שקופיות 9. מצלמת וידאו 10. מסרטת קולנוע 11. כבלי טלפון.



5. מתוך הרשימה שבסעיף 4 בחר לך חמישה מכשירים אופטיים (מכשירי ראייה או צפייה) המוכרים לך:

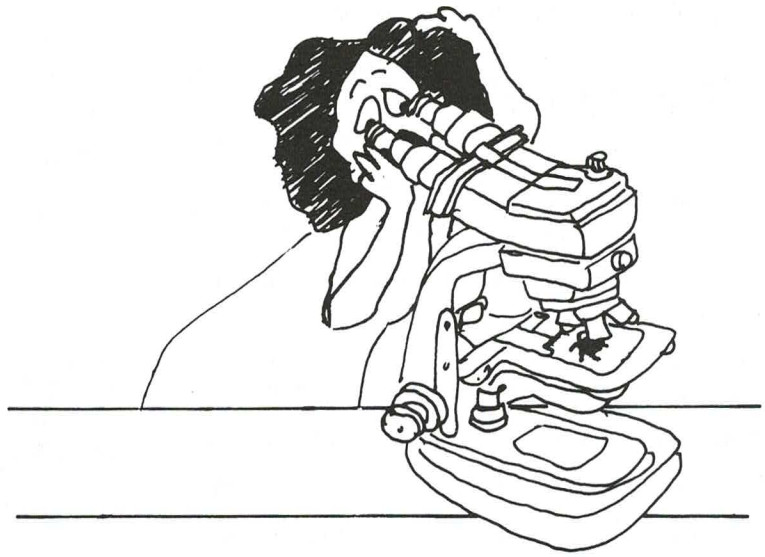
1. _____ 4. _____
2. _____ 5. _____
3. _____

6. סיורנו בממלכת האור, יביא אותנו להבנת פעולתם של המכשירים הבנויים על פי תכונות האור. נתחיל אותו בהסבר המושג **קרני אור**. לאחר מכן נראה, כיצד מתפשטות קרני האור בתוך חומרים שקופים, כגון: אוויר, זכוכית, מים וחומרים פלסטיים למיניהם. נבדוק את התנהגות קרני האור, לאחר שהן נתקלות בגופים המחזירים אותן. נראה כיצד עוברות קרני האור מחומר שקוף אחד לחומר שקוף אחר. לבסוף נלמד, כיצד מנוצלות תכונות אלה לבנייתם של מכשירים אופטיים.

נסכם

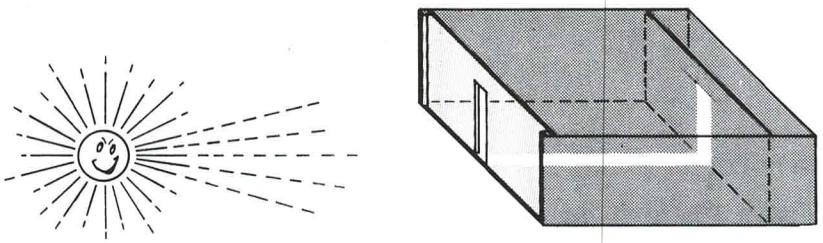
א. העצמים הנראים נחלקים לעצמים בעלי מקור אור עצמי, ולכאלה הנראים בעזרת אור הפוגע בהם.

ב. מכשירים המסייעים לנו בראיית עצמים או בצפייה בהם נקראים מכשירים אופטיים.



1.ב כיצד מתפשט האור?

1. הבה נראה, כיצד מתפשט אור מגוף מאיר, היוצר אותו.
לשם כך נשתמש באור השמש.

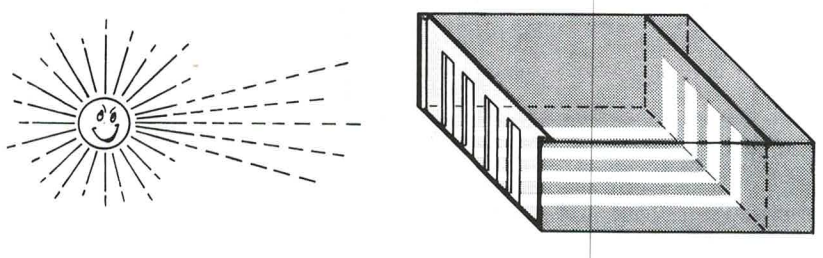


ציור 1: חדירת אור שמש דרך סדק דק

ניסוי או"ג 1. חדירת אור שמש דרך סדק דק

החדר אור שמש דרך הסדק הדק הנמצא בדופן הקופסה (ציור 1), כך שהאור יאיר את התחתית. תוכל לראות שהאור מתקדם לאורך קו _____ (עגול/ישר). (1)

2. פתח מספר חריצים בדופן הקופסה. הפנה את הדופן במאונך לכיוון קרני השמש. אנו רואים שוב כי האור נע בקווים _____ (1) (ישרים/עקומים). הקווים שעל תחתית הקופסה _____ (2) (מתרכזים/מתפזרים/מקבילים זה לזה).
זו תכונה של אור המגיע מהשמש. אור המגיע מהשמש או ממקור אור אחר, הנמצא רחוק מאוד , כוכבים וכדומה, נע בקווים מקבילים.



ציור 2: אור המגיע מהשמש נע בקווים ישרים מקבילים

נגדיר:
א. הקווים הישרים שלאורכם מתפשט האור נקראים **קרני אור**.
ב. אלומת אור – קבוצת קרני אור היוצאות ממקור משותף.

3. רוב מקורות האור, כמו נורת חשמל, מפיצים אלומות קרני אור לכל הכיוונים. יש מתקנים המקרינים **אלומה מקבילה וצרה** של אור בכיוון אחד בלבד. מכשירים אלה נקראים "**מכשירי לייזר**".

ציור 3:
נורת חשמל מפיצה אלומות אור לבן לכל הכיוונים

הלייזר הוא מקור מרוכז מאוד של אור בצבע אחד. קיימים מכשירי לייזר המקרינים צבעים שונים. אך, כאמור, כל סוג מקרין אלומת אור _____ (רחבה/צרה), בעלת צבע מוגדר אחד, בכיוון אחד ובעוצמה רבה.

הלייזר מופעל באמצעות אנרגיה חשמלית ולו שימושים חשובים ברפואה, במחקר ובתעשייה.

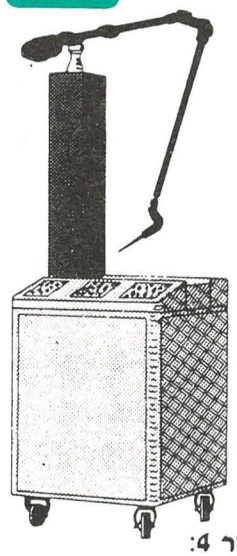
4. בקש מהמורה שיראה לך את אלומת האור שמקרין הלייזר.

זהירות! אל תסתכל בשום פנים ואופן לתוך המכשיר מחשש לעיוורון.

על הקיר שממול מכשיר הלייזר נוצר כתם שצבעו _____. האם הנך רואה את אלומת האור? _____ (כן/לא). כדי שתוכל לראות את אלומת הלייזר היטב, פזר לאורך הישר היוצא מהלייזר אבקת גיר.

כיצד התקדמה אלומת הלייזר באוויר? _____

או"ג 3



ציור 4:
מכשיר לייזר מקרין אלומת אור צרה ומקבילה בצבע אחד

5. כמו חום כך גם האור הוא אחד מסוגי האנרגיה. האנרגיה של קרני אור הלייזר מאוד **מרוכזת**. ריכוז האנרגיה מאפשר לבצע ניתוחים עדינים בשטח זעיר מאוד כמו בניתוחי עיניים, לדוגמה.

במחקר משתמשים בקרני לייזר בגלל מספר סיבות:

א. ללייזר ריכוז רב של אנרגית אור.

ב. קרינת הלייזר היא בעלת צבע אחד.

ג. אור הלייזר מתפשט באלומות אור מקבילות.

הלייזר משמש בתעשייה לביצוע קידוחים וחיתוכים במתכות ובחומרים קשיחים. אפשר לסמן בעזרתו עצמים רחוקים ולמדוד את המרחק אליהם, ועוד.

נסכם

א. הניסויים מלמדים אותנו כי האור נע בקווים ישרים.

ב. מקור אור מרוחק, כגון: שמש, כוכבים, שולח אלומות אור מקבילות.

ג. הלייזר הוא מקור אור המקרין אלומה צרה ומקבילה בעלת צבע אחד.

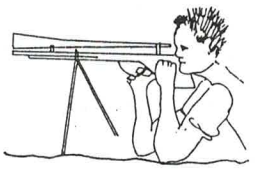
6. האם ידועות לך דוגמות מחיי היום-יום המוכיחות את התכונה שאור נע בקו ישר? אם כן רשום שלוש דוגמות כאלה:

א. _____

ב. _____

ג. _____

ב.1



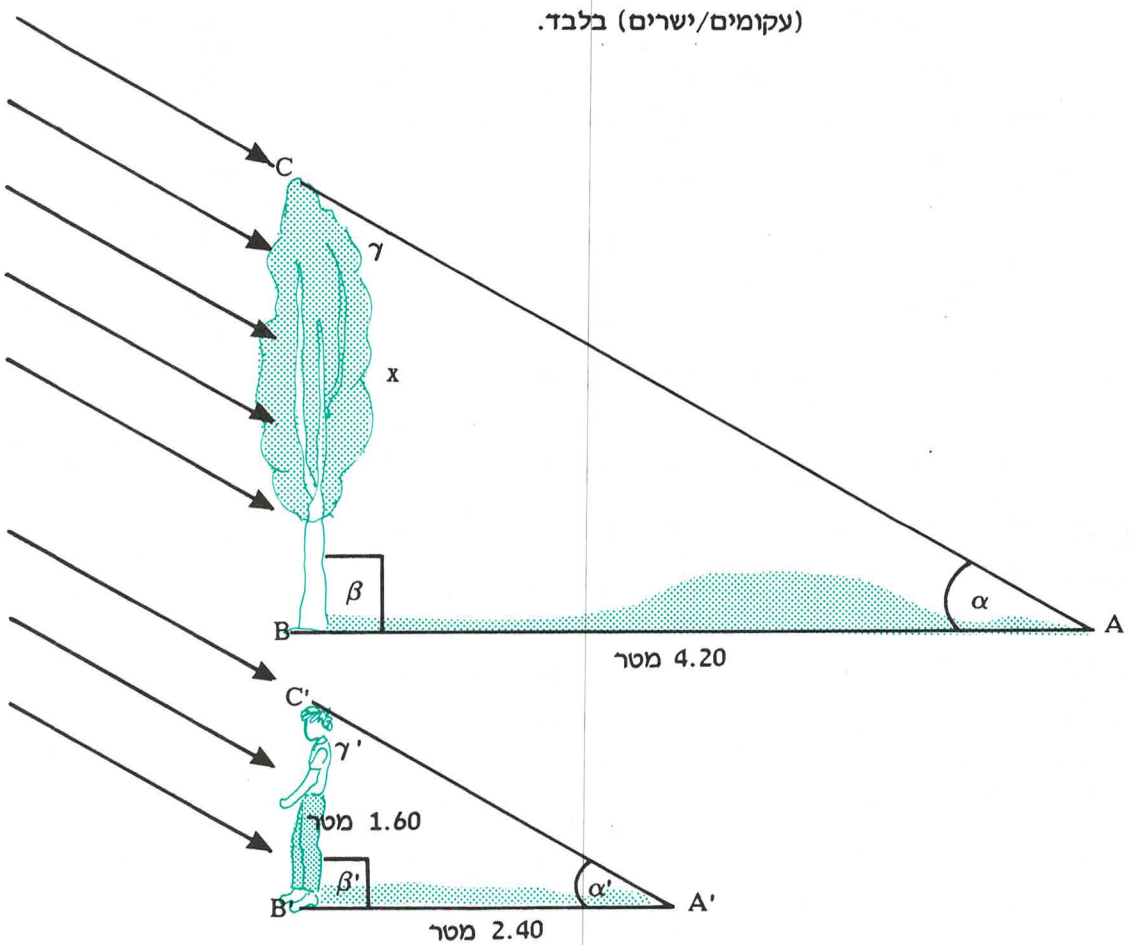
ציור 5:
צלף המכוון למטרה רואה אותה בברור, בגלל שהאור מתפשט בקווים ישרים

דוגמה פשוטה לכך ר״א צלף המכוון למטרה. הוא מכוון את קנה הרובה לכיוון בו הוא רואה את המטרה. בעשותו כך, משתמש הצלף בעובדה שהאור המגיע מהמטרה מתקדם אליו _____ (בקווים עקומים/ בקווים ישרים).

1

7. תופעות של **אור וצל** מוסברות גם הן בעזרת תכונתו של האור להתפשט בקווים ישרים. מי שמתבונן בצל של עצמים לא שקופים (אטומים) ביום שמש בהיר, רואה, שצורת הצל כצורת הגוף. העובדה שאין רואים כל אזורי אור בתוך הצל, מראה שהאור נע בקווים _____ (עקומים/ישרים) בלבד.

1



ציור 6: צל של אדם וצלו של עץ באותו זמן

8. אורך צלו של אדם שגובהו 1.60 מטר בשעת בוקר הוא 2.40 מטר. באותה שעה נמדד אורך צלו של עץ. אורכו היה 4.20 מטר. מה גובה העץ?

הקרניים המקבילות המגיעות מהשמש נעות בקו ישר ולכן הן נחסמות הן על ידי האדם והן על ידי העץ באותה זווית: $\alpha = \alpha'$

1

שני המשולשים ABC ו-A'B'C' הם _____ (קהי/ישרי) זווית.

זאת אומרת שהזוויות β ו-β' הן בנות $90°$. שתי הזוויות הנוספות γ ו-γ' אף הן שוות, כי סכום הזוויות במשולש הוא _____

2

ב.1

(180°/360°/240°), (כלומר, $\alpha=\alpha'$ $\beta=\beta'$ $\gamma=\gamma'$). שני משולשים ששלוש זוויותיהם שוות בהתאמה הם משולשים דומים, כלומר, היחס בין צלעותיהם קבוע. לפיכך, היחס בין גובה העץ וגובה האדם שווה ליחס שבין הצללים שלהם.

כלומר: $\frac{x}{1.60} = \frac{4.20}{2.40}$

$x =$ 2.80 מטר

נסכם:
שני משולשים נקראים דומים אם הזוויות שלהם שוות בהתאמה.
במשולשים דומים - היחס בין צלעות המשולשים שווה.

9. תנועת האור בקווים ישרים מאפשרת לנו לצלם במצלמת חריר כפי שתראה בניסוי שלפניך.

לפניך קופסה כהה בעלת חריר קטן. מצדו האחר של החריר נמצא נייר שקוף למחצה (נייר פרגמנט).

כוון את חריר הקופסה אל עצם הנמצא מחוץ לחדר והמואר היטב באור השמש.

החדר שממנו הנך צופה צריך להיות שרוי באפלולית.

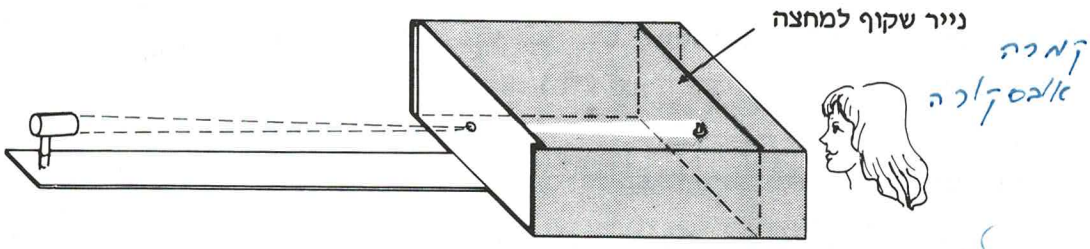
הסתכל בנייר הפרגמנט. קיבלת עליו תמונה הנקראת **דמות** של העצם.

הדמות נראית לך _____ (ישרה/הפוכה). היא _____ (מוקטנת/מוגדלת) ביחס לעצם.

קרני האור יצאו מהעצם הנצפה ונעו תחילה בקווים _____ (ישרים/עקומים) אל _____ (הצד האחורי/ החריר) של הקופסה.

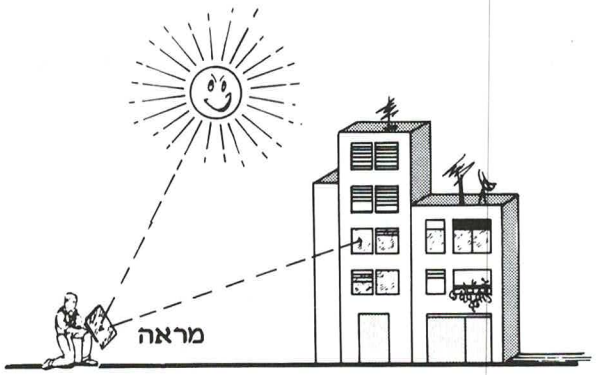
משם הם המשיכו שוב **באותם** קווים ישרים אל הנייר עליו הם יצרו את דמות העצם.

אם במקום נייר הפרגמנט נשים פילם (נייר צילום) מול החריר, נקבל _____ (קופסת/מצלמת) חריר.



ציור 7: מצלמת חריר:
האור מתפשט בקווים ישרים ויוצר תמונה הפוכה, לאחר שעבר דרך חור קטן מאוד

10. התבונן בציור 8. קרני האור המגיעות מהשמש אל המראה נעות בקווים _____ (ישרים/עקומים). מהמראה הן נעות אל הבניין שוב בקו ישר. התופעה שגורמת לאור לשנות את כיוונו לאחר הפגיעה במראה, כמתואר בסרטוט, נקראת **החזרת אור**. מושג זה יהיה הנושא של הפרק השני.



ציור 8: מראה מחזירה אור

11. סיימת לעבוד על פרק 1. ענה על שאלות הסיכום שלפניך. פנה לרשימת היעדים שבתחילת הפרק, ובדוק אם אכן הושגו יעדים אלה.

1. מהם מכשירים אופטיים? תן שש דוגמות למכשירים אלה.

_____

_____

_____

2. מהו ההבדל בין עצם שהוא מקור אור עצמי ובין עצמים אחרים?

_____

_____

3. הסבר את המושג קרן אור.

_____

4. כיצד מתפשט האור? הבא שתי דוגמות מחיי היום יום.

_____

_____

_____

5. מהו ההבדל בין מקור אור לייזר לבין אור הבוקע מנורה חשמלית?

_____

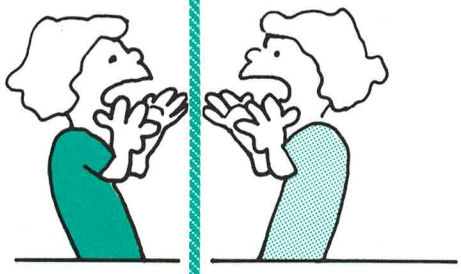
6. הסבר את עקרון הפעולה של מצלמת חריר.

_____

_____

_____

_____

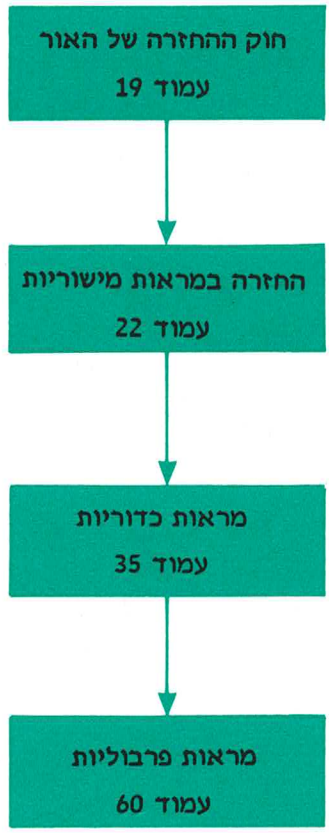


פרק 2

החזרת האור

פרק 2 - החזרת האור

תרשים מהלך נושא הלימוד



בסיום הפרק אתה אמור:

1. להבין כיצד נוצרת דמות במראה.
2. לדעת מהי דמות מדומה ומהי דמות ממשית.
3. להבין מתי שווה הדמות בגודלה לעצם, מתי היא מוגדלת ומתי היא מוקטנת.

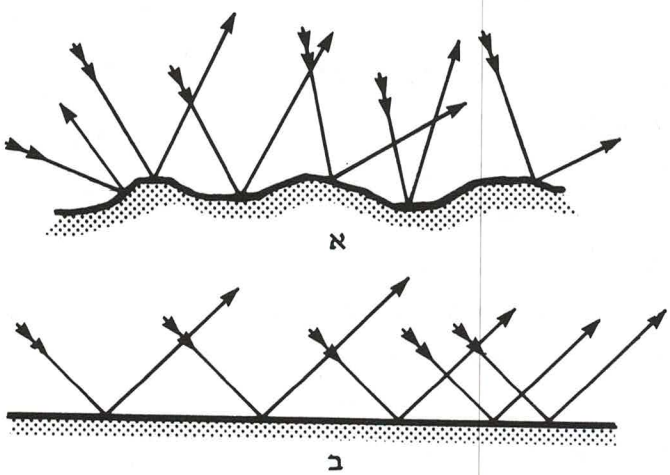
עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלה אמנם הושגו

2.א חוק ההחזרה של האור

1. מרבית הגופים, שאנו רואים, אינם פולטים אור בעצמם. אנו רואים את רובם, כי הם מחזירים אור, הפוגע בהם. אם המשטח שמחזיר את האור הוא משטח מחוספס, כגון דף נייר, קיר וכדומה, האור חוזר ממנו בכיוונים רבים. החזרה זו נקראת **החזרה לא מסודרת**. לעומת זאת, אם המשטח שמחזיר את האור הוא משטח מבריק, מלוטש וחלק מאוד, תהיה ההחזרה _____ (מפוזרת/מסודרת). 1

ציור 9:
השתקפות –
תוצאה של החזרת האור
ממשטח המים

לפניך שני ציורים: 10 א', 10 ב', בציורים אלה מופיע חתך של משטחים.
איזה מהם מתאר החזרה מסודרת? _____ (10 א'/10 ב') 2



ציור 10: החזרת אור

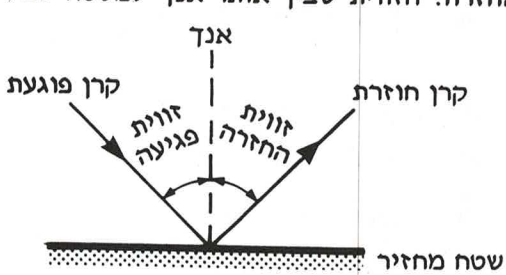
שים לב! חלק גדול מהציורים בחוברת זו יהיו בחתך, לדוגמה: הקו העבה המפותל בציור 10 א' מייצג משטח שלם שאיננו מלוטש. הקו העבה הישר שבציור 10 ב' מייצג משטח שלם מלוטש.

2. האור הפוגע במשטח מבריק ומלוטש _____ (מועבר/מוחזר). 1

כדי לקבוע כיצד מוחזר האור, נגדיר מספר מושגים:

זווית פגיעה: הזווית שבין קרן האור הפוגעת לבין האנך למשטח בנקודת הפגיעה.

זווית החזרה: הזווית שבין אותו אנך למשטח לביו הקרן החוזרת (ציור 11).

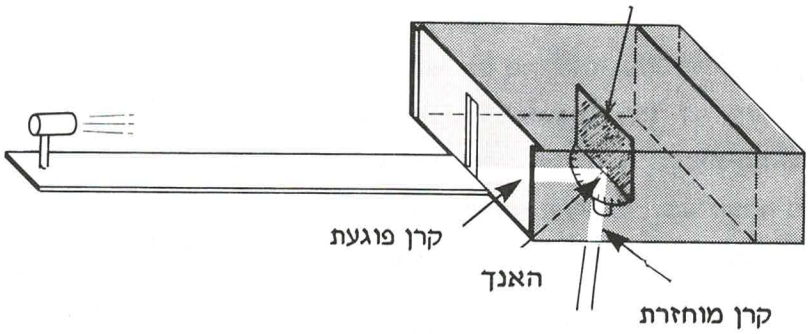


ציור 11: זווית פגיעה וזווית החזרה

3. האם יש קשר בין זווית הפגיעה לבין זווית ההחזרה?

כדי לבדוק זאת נערוך את ניסוי או"ג 5.

לשם כך נשתמש במראה מישורית שהיא משטח ישר ומלוטש היטב.



ציור 12: החזרה של אור

הנח בתוך הקופסה מראה מישורית. הדלק את הפנס, כוון את המראה כך שתהיה מאונכת לקרן האור. כיוון זה הוא גם **האנך** למראה.

משני צדי האנך מסורטטים קווים הממוספרים בזוויות, שיסמנו את זוויות ההחזרה והפגיעה.

סובב את המראה בזווית של 10° ביחס לקרן. זו זווית הפגיעה.

שים לב כי כיוון הקרן שמגיעה מהנורה (1) _____ (משתנה/אינו משתנה). סיבוב המראה ויחד עמה האנך לה, יוצר את זווית הפגיעה.

(2) מדוד את זווית ההחזרה ורשום אותה בטבלה שלפניך. סובב את המראה _____ (הקמורה/המישורית) כך שתקבל זוויות פגיעה נוספות.

רשום את התוצאות באותה טבלה.

זווית הפגיעה	0°	10°	20°	30°	40°
זווית ההחזרה					

(3) באיזה מצב, לדעתך, תהיה זווית הפגיעה בת 0°? מדוע?

_____

מהי זווית ההחזרה במצב זה? _____

(4) רשום את הקשר שמצאת בין זווית ההחזרה לזווית הפגיעה.

_____

נסכם:

א. הזווית שבין הקרן הפוגעת והאנך למראה בנקודת הפגיעה, נקראת **זווית הפגיעה**.

ב. הזווית שבין הקרן המוחזרת והאנך בנקודת הפגיעה, נקראת **זווית ההחזרה**.

ג. קרן אור הפוגעת במראה, חוזרת בזווית החזרה השווה לזווית הפגיעה. חוק זה נקרא: **"חוק ההחזרה"**.

4. **האם יש הצדקה לביטוי "חלק כמו ראי"?**

התבונן במראה מישורית, מה אתה רואה?

(1) _____

אנו אומרים שהמראה המישורית **משקפת** דמויות.

דף נייר, אפילו חלק ביותר, אינו משקף דמויות, כשם שהמראה משקפת.

דבר זה מצביע על כך, שהמראה אמורה להיות מלוטשת היטב.

דף הנייר בו אתה קורא כרגע, מחזיר את האור בצורה (2) _____ (מסודרת/לא מסודרת). קרני האור הפוגעות בדף, נתקלות במיליוני משטחים קטנטנים, הפונים לכל הכיוונים (ציור 10א). האור הפוגע במשטחים אלה חוזר (3) _____ (בכיוון אחד/בכל הכיוונים). המצב הזה הוא מצב **רצוי**, כי הוא מאפשר לנו לראות חפצים מכל כיוון או מכל מצב. את רוב העצמים סביבנו אנו רואים, כיוון שהם מחזירים את האור הפוגע בהם בצורה (4) _____ (מסודרת/לא מסודרת).

מה, לדעתך, היינו רואים, אילו היה הדף הזה חלק לחלוטין? (5) _____ (את הכתוב עליו/את פנינו/את הכתוב עליו ואת פנינו כאחד).

רמז: מה תראה כאשר תצייר קווים על מראה מישורית?

האם אפשר לראות מראה נקייה לחלוטין? (6) _____ (כן/לא). מדוע? (7) _____ (כי היא מבריקה מאוד/כי היא משקפת את מה שלפניה).

5. קרא באנציקלופדיה "בריטניקה לנוער" (1977) כרך י"ג, עמוד 195, בערך "ראי" וענה על השאלות שלפניך.

מהי שיטת יוסטוס פון לביג, לבניית מראה? (8)

_____

באיזו עוד שיטה חדישה משתמשים בימינו לבניית מראות? (9)

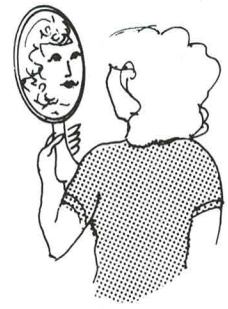
_____

_____

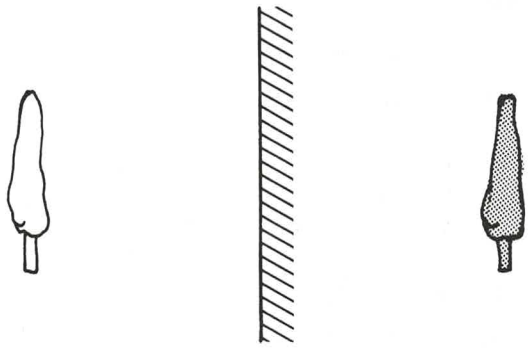
2.ב החזרה במראות מישוריות

1. התבונן במראה שלפניך. היכן נמצאת דמות פניך המשתקפת במראה?
(1) _____ (על פני המשטח/בתוכה, במרחק מסוים ממשטח המראה).

2. ננסה להבין, מדוע רואים דמויות במראה מישורית והיכן נמצאות דמויות אלה. נניח, שגוף ניצב לפני מראה מישורית. קרני אור (מהשמש, מנורות חשמל או מכל מקור אור אחר), פוגעות בגוף ומוחזרות **מכל נקודה** שלו לכל הכיוונים.
מכל נקודה בגוף חוזרות למעשה קרנים.



ציור 13:
מדוע היא רואה את עצמה?



ציור 14: העין קולטת חלק מהקרניים החוזרות מהמראה (חתך)

3. בציור 14 מתוארות רק ארבע קרניים מבין הקרניים, היוצאות מנקודה אחת (A) של הגוף. קרניים דומות אפשר לצייר **מכל** נקודה אחרת של הגוף.

שים לב!
זווית ההחזרה של כל קרן שווה לזווית הפגיעה, כפי שמתחייב מחוק _____ (איזה?) (1)

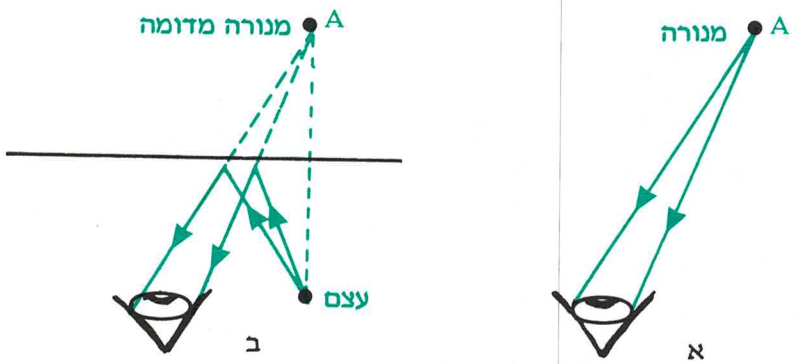
4. בציור 14 המשכנו בקווים מקווקוים את הקרניים החוזרות מהמראה המישורית. חוקי הגיאומטריה מראים כי המשכן של הקרניים
(1) _____ (הפוגעות/החוזרות) מהמראה נפגש בנקודה אחת 'A.
כל קרני האור שהמקור שלהן בנקודת העצם A, חוזרות מהמראה. הן חוזרות כאילו שמוצאן בנקודה 'A. כלומר, העין מדמה לעצמה שמקור הקרניים החוזרות הוא מהנקודה 'A. זאת אומרת, שהעין רואה בנקודה

ב.2

'A את הדמות של הנקודה A, _____ (לפני/מאחורי) המראה.

מדוד בציור 14 את מרחק הנקודה A מהמראה: _____ ס"מ, מרחק נקודת הדמות 'A מהמראה הוא _____ ס"מ.

המסקנה:
המרחק האנכי של נקודת דמות מהמראה, שווה למרחק האנכי של נקודת העצם ממנה יצאו קרני האור למראה.



ציור 15:
א. מנורה קטנטנה שולחת קרניים לעין. העין רואה את המנורה הקטנה.
ב. הקרניים החוזרות מהמראה יוצרות אשליה שהמנורה נמצאת בנקודה 'A

הערה: הדבר שיוצר בעין את תחושת הראייה של נקודת אור הוא קרני האור המגיעות לעין מהנקודה. זאת, **גם** אם הקרניים לא יצאו מנקודת האור אלא רק המשכן הגיע לעין (ציור 15), כי העין אינה מסוגלת לעקוב אחרי המהלך הממשי של הקרנים (שמוחזרות מהמראה).

שים לב! המקום שממנו באות הקרניים נמצא תמיד **לפני** המשטח. כל התחום שנמצא בצדו האחר של המשטח ייקרא התחום **שמאחורי** המשטח.

5. דמותה של נקודת אור הנמצאת לפני מראה מישורית, תהיה תמיד _____ (לפני/מאחורי/על) המראה.

קרני האור היוצאות מנקודה אחת בעצם מסוים, מגיעות למראה וחוזרות ממנה.

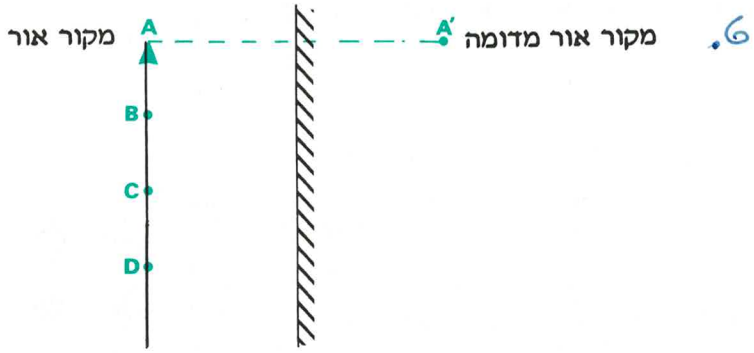
לעין האדם המתבונן במראה נדמה, שהקרניים החוזרות באות מנקודה אחת _____ (לפני/מאחורי/על) המראה.

נקודה זו היא **הדמות** של נקודת **העצם** המתאימה.

6. נראה כיצד נוצרת הדמות כולה.

כל אשר אמרנו עד כה לגבי נקודה אחת A של העצם נכון לגבי כל נקודה שלו.

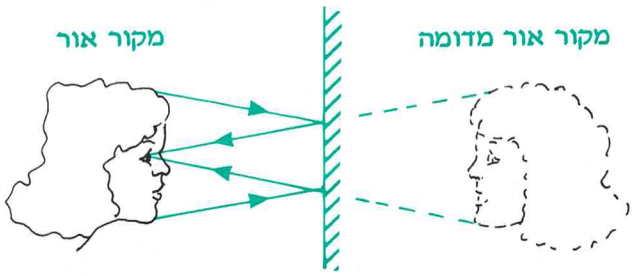
דמות של **כל** נקודה בעצם נראית במראה במרחק אנכי _____ (השווה ל/השונה מה) מרחק האנכי של נקודות העצם מהמראה, בצדה האחורי.



ציור 16: גובה הדמות לעומת גובה העצם

בציור 16 מסומנת ב-A' דמות הנקודה A. דמותה של הנקודה B תהיה הנקודה B'. צייר אותה. תמונת הנקודה C תהיה _____ ותמונת הנקודה _____ תהיה _____. צייר גם אותן.

לנקודות אלה אפשר היה להוסיף את כל שאר נקודות הדמות והעצם. אוסף _____ (כל/חלק מ) נקודות הדמות יוצר את הדמות השלמה של העצם כולו. גובה הדמות _____ (שווה ל/שונה מ) גובה העצם. אוסף כל נקודות הדמות יוצר יחד את הדמות השלמה של העצם (ציור 17).



ציור 17: בניית דמות במראה מישורית.
קרני האור המגיעות לעין נראות כאילו יצאו ממקור האור המדומה (מהדמות). נקודות הדמות שמאחורי המראה נמצאות במרחק שווה לנקודות העצם שלפניה

נסכם:

א. כל נקודה של עצם, העומד לפני מראה מישורית, נראית כנקודת דמות הנוצרת **מהמשך** קרני האור **המוחזרות** מהמראה.

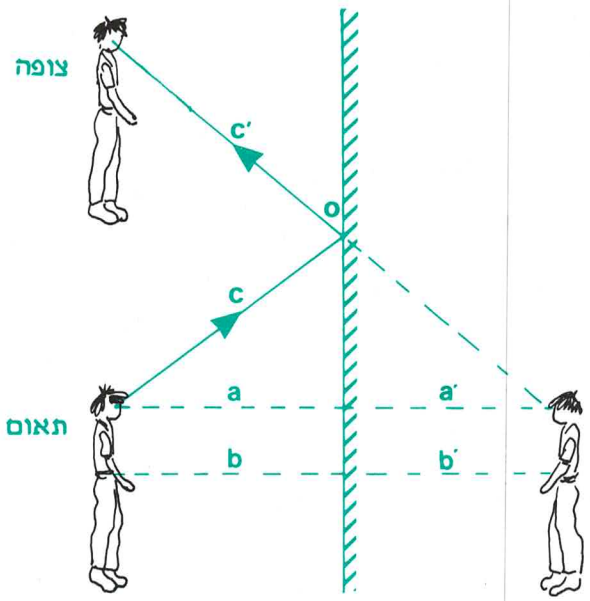
ב. המרחק האנכי של נקודת דמות מהמראה המישורית שווה למרחק האנכי של נקודת העצם.

ג. אוסף כל נקודות הדמות יוצר את הדמות השלמה של העצם.

7. צופה רואה את אחיו התאום במראה.

א. נסרטט את הדמות של האח התאום.

ב. נסרטט קרן אור אחת היוצאת מהאח התאום וחוזרת לעינו של הצופה.



ציור 18: דמות האח התאום

א. דמותו של האח התאום נמצאת _____ (לפני/על/מאחורי) המראה המישורית. כל נקודה שממנה יוצאות קרני אור מהאח התאום, משתקפת במראה במרחק _____ (שונה/שווה) למרחק האח התאום מהמראה (הקטע a = a' b = b' וכו').

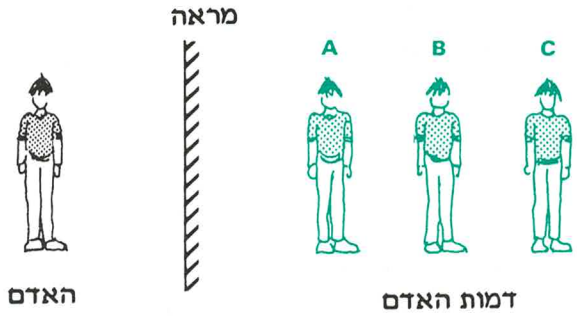
ב. נצייר את הקרן שיוצאת מראשו של האח התאום לעין הצופה. תחילה נסרטט את הישר המחבר את ראש הדמות של האח התאום עם אחיו הצופה. חלק הישר שמאחורי המראה הוא _____ (מלא/מקווקו) כי הוא המשכה של הקרן _____ (המוחזרת/הפוגעת). נחבר את ראש האח התאום עם נקודה 0, זו הקרן _____ (הפוגעת/המוחזרת). הקרן C הפוגעת במראה ו-C' המוחזרת ממנה, מאפשרות את ראיית דמותו של האח התאום.

בצע את המשימה שלפניך. לאחר שתבצע את הפעילות הנדרשת, פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 1, כדי להשוות פתרונך לפתרון הנכון.

2.2

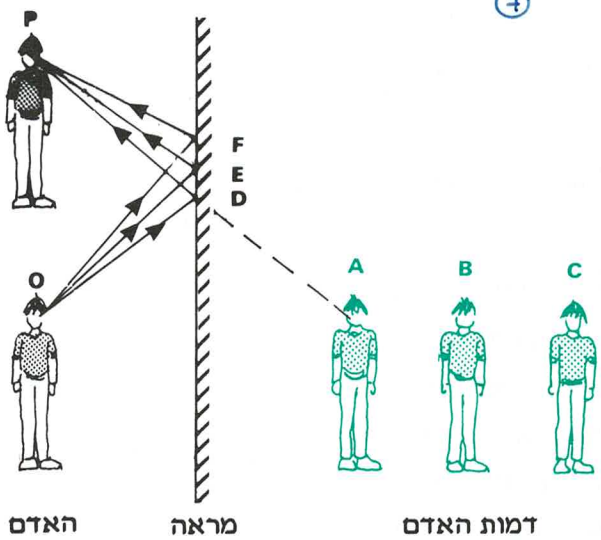
7.

א. מול המראה המסורטטת עומד אדם. את דמותו נראה במקום ☐ (רשום A, B או C).



ציור 19: דמות במראה

ב. מול המראה עומד אדם O. הצופה P רואה את האדם באמצעות מהלך הקרניים ☐ (רשום OFP, OEP או ODP).



ציור 20: מהלך קרן אור שבעזרתה רואים את הדמות

מילאת את המשימה? פנה למורה לקבלת שקף הבקרה ש. או"ג. 1.

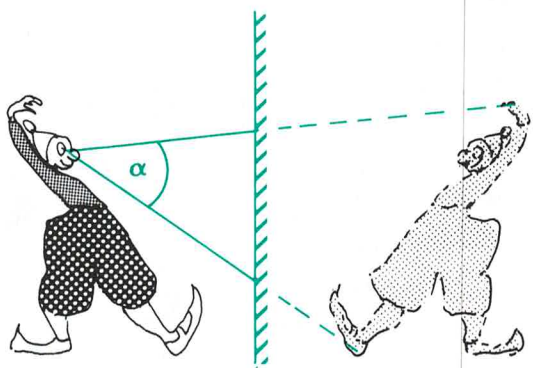
ש. או"ג 1

8. נכיר מושג נוסף הקשור לראיית דמויות במראה והוא - **זווית ראייה**.
הגדרה: זווית ראייה היא הזווית α שבה רואים דמות של עצם נתון במראה (ציור 21).

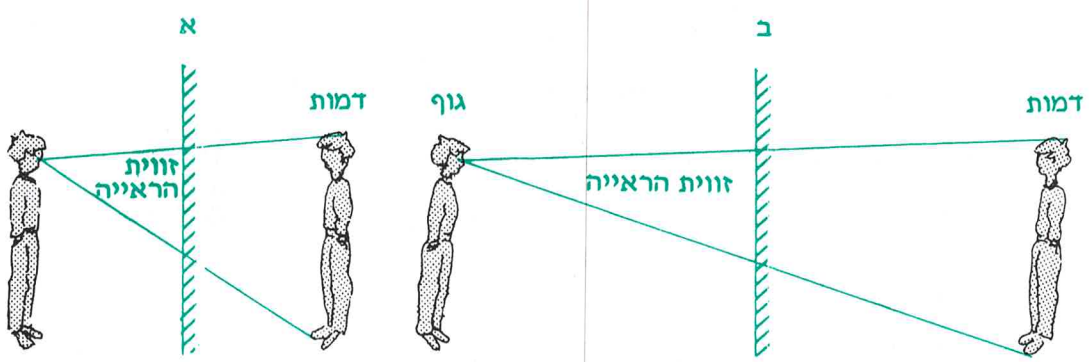
א. כאשר מראה מישורית היא גדולה דיה, אנו רואים את כל דמותנו המשתקפת במראה (ציור 22).

ב. כאשר מתרחקים מהמראה גודל הדמות _____ (1)
(גדל/קטן/אינו משתנה) (ציור 22).

ג. ככל שמתרחקים מהמראה, זווית הראייה שבה רואים את _____ (3) (הדמות/העצם) הולכת _____ (2)
(וקטנה/וגדלה).



ציור 21: זווית הראייה α שבה נראית הדמות



ציור 22: זווית הראייה משתנה, אך גודל הדמות אינו משתנה

נסכם:

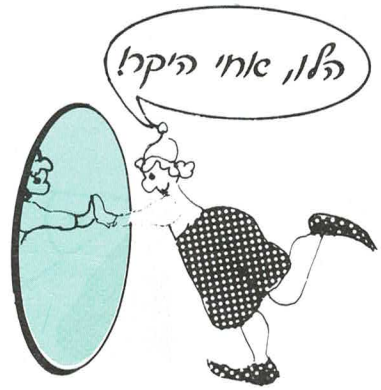
א. זווית ראייה היא זווית שבה נראית דמותו של עצם נתון במראה.

ב. גודלה של הדמות במראה מישורית אינו משתנה, כאשר העצם מתרחק מהמראה.

ג. במראה מישורית ככל שהמרחק שלנו מהמראה גדל, כך קטנה זווית הראייה.

הערה חשובה: הבחן היטב בין שני המונחים: עצם ודמות. מכאן ואילך **עצם** הוא הגוף ששולח את קרני האור אל המראה **ודמות** היא התמונה שמשתקפת בה לאחר החזרת האור ממנה. הקפד להשתמש נכון בשני מונחים אלה.

9. ענה על השאלות שלפניך.



א. כאשר אתה מסתכל במראה מישורית נראית לך דמותך כאילו אחיך עומד מאחורי המראה. הנך עומד במרחק 2.5 מטר ממראה מישורית. באיזה מרחק ממך נמצא "אחיך התאום" (שהוא אינו אלא דמותך במראה)?

אתה נמצא במרחק _____ (1) מטר מהמראה.

דמותך נמצאת במרחק _____ (2) מטר מאחורי המראה.

לכן, המרחק ממך אל דמותך הוא 5 מטרים.

ב. אם הנך נע אל מראה מישורית, דמותך _____ (3) (מתרחקת/מתקרבת) אליך. אם תנוע במהירות של 2 $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ אל המראה, תנוע הדמות אל המראה במהירות שגודלה _____ (4) (שונה/שווה) למהירותך. מהירותה של הדמות היא _____ (5) (באותו כיוון/בכיוון הפוך) למהירותך.

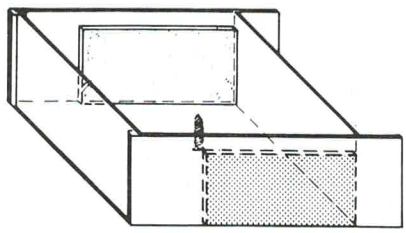
ג. מה דעתך, האם תוכל לצלם את דמותך המשתקפת במראה מישורית? _____ (6) (כן/לא).

נמק: _____ (7)

10. לפניך סדרת ניסויים המדגימים את תכונותיה של המראה המישורית.

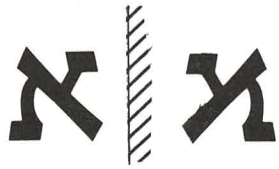
או"ג 6

א. הצב שתי מראות מישוריות כשהן מקבילות זו לזו (ציור 23). שים בורג ביניהן. כמה דמויות של הבורג אתה רואה במראות? (1) _____ (3/4/אין סוף).



ציור 23: דמויות הנוצרות בשתי מראות מקבילות

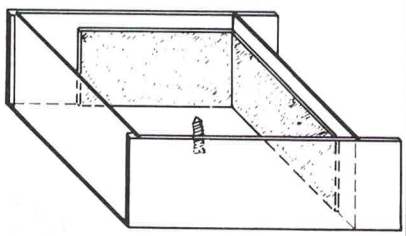
ההסבר הוא שכל דמות המשתקפת באחת המראות משתקפת באחרת. מרחק הדמויות השונות מהמראה המישורית הולך וגדל.



ציור 24: כתב ראי

ב. האם שמעת פעם על "כתב ראי"?
הנח לפני מראה דף כתוב, זהו כתב ראי. האם תוכל לקרוא בקלות את הכתוב בדף? _____ (כן/לא). כיצד נראית תמונת הכתב במראה המישורית? _____ (ישרה/הפוכה).

ג. הצב שתי מראות מישוריות בזווית ישרה זו לזו (ציור 25). שים בורג בין המראות. כמה ברגים אפשר לראות בשתי המראות? _____ (4/3/2/1).



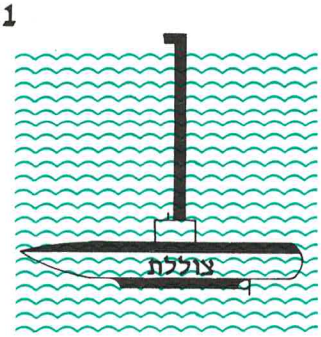
ציור 25: דמויות הנוצרות במראות מאונכות

ד. התבונן במראה. הרם את יד ימין. הדמות שבמראה הרימה את יד _____ (ימין/שמאל). עתה הרם את יד שמאל. הדמות שבמראה הרימה את יד _____ (ימין/שמאל).
מסקנה: מראה מישורית הופכת ימין-שמאל.

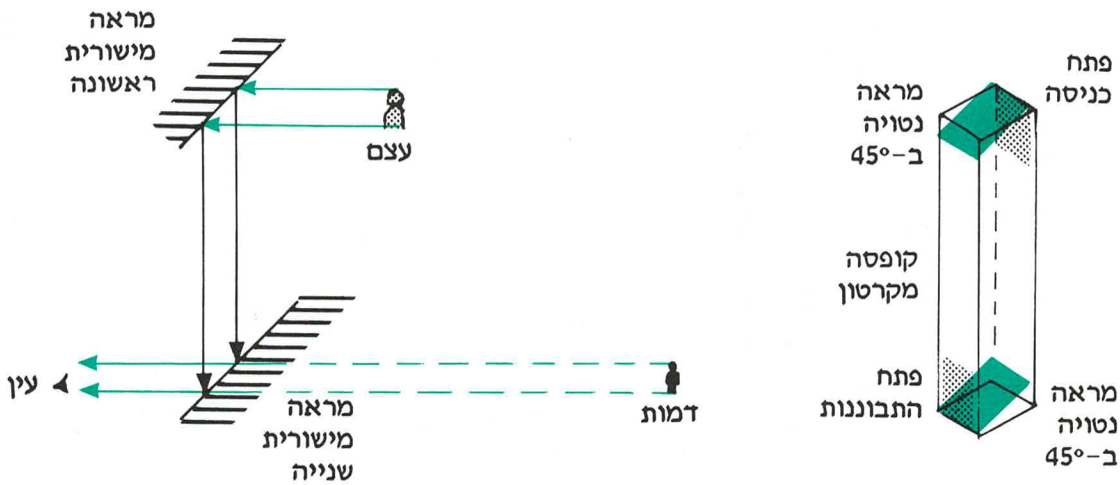
ה. הצב שוב שתי מראות מישוריות בזווית ישרה זו לזו (ציור 25). הרם יד ימין, הדמות במראה הרימה את יד _____ (ימין/שמאל).
אם תרים יד שמאל, הדמות במראה תרים את יד _____ (ימין/שמאל).
מסקנה: זוג מראות הנמצאות בזווית ישרה זו לזו _____ (מבטלות/אינן מבטלות) את היפוך ימין-שמאל שקיים במראה מישורית יחידה.

ו. שים דף כתוב מול שתי המראות המישוריות, הנמצאות בזווית ישרה זו לזו. דמות הכתב המוחזרת היא _____ (ישרה/הפוכה).
מסקנה: דמות כתב המוחזרת משתי מראות מישוריות, הנמצאות בזווית ישרה זו לזו, נראית _____ (ישרה/הפוכה). לעומת זאת, מול מראה מישורית אחת נראה הכתב _____ (ישר/הפוך).

11. נהג טנק יכול לראות את הדרך שלפניו גם כשהוא נמצא בתוך הטנק הסגור.
מפקד צוללת יכול לראות את הנעשה על פני הים גם כאשר הצוללת שקועה כולה במים.
איך הם עושים זאת?
הן בטנק והן בצוללת מצוי מכשיר אופטי הקרוי "פריסקופ". הפריסקופ הוא מעין תיבה ארוכה המכילה שתי מראות מישוריות הקבועות בקצות התיבה בזווית של 45°. מבנהו מתואר בצורה סכימטית בציור 26 א'



ומהלך הקרניים מתואר בציור 26 ב'.



ב. מהלך קרניים

א. מבנה

ציור 26: פריסקופ

איך מראה את התהלוכה

11.

כאשר הצוללת שקועה במים, מועלה הפריסקופ מעליהם ואז יכול מפקד הצוללת יכול לראות את המתרחש על פני המים. כך גם נהג הטנק מסתכל דרך הפריסקופ ורואה את הדרך שלפניו.

מה יעשה הילד כדי לראות את התהלוכה? 0

_____

_____

_____

נסכם:

א. מרחקה של הדמות מהעצם במראה מישורית הוא כפליים מרחק העצם מהמראה.

ב. מהירות התקרבות עצם למראה מישורית שווה למהירות התקרבות הדמות למראה.

ג. בשתי מראות מישוריות מקבילות זו לזו מתקבלות אין סוף דמויות.

ד. בשתי מראות מאונכות זו לזו מתקבלות שלוש דמויות.

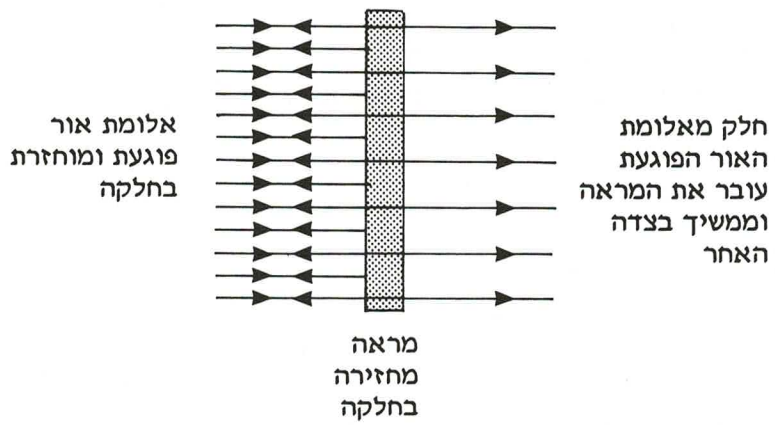
ה. מראה מישורית מבצעת היפוך ימין-שמאל.

ו. פריסקופ הוא תיבה שבקצותיה שתי מראות מישוריות הנטויות בזווית של 45°.

12. מראות מחזירות בחלקן

האם ראית משקפי שמש הנראים כמו מראות? יש גם חלונות במשרדים הנראים כמו מראות.

הן משקפי השמש והן החלונות האלה עשויים מסוג מסוים של מראות מישוריות. אלה הן מראות שאינן מחזירות את כל קרני האור הפוגעות בהן, אלא רק חלק מהן. החלק שאינו מוחזר, פוגע במראה **ועובר** אותה אל צדה האחר.



ציור 27: מהלך הקרניים במראות מחזירות בחלקן

מראות אלו נקראות בשם "**מראות מחזירות בחלקן**", או "**מראות מעבירות בחלקן**". אם נתבונן במראה כזאת, האם נראה את דמותנו?

1 _____ (כן/לא). הסיבה: 2 _____

_____

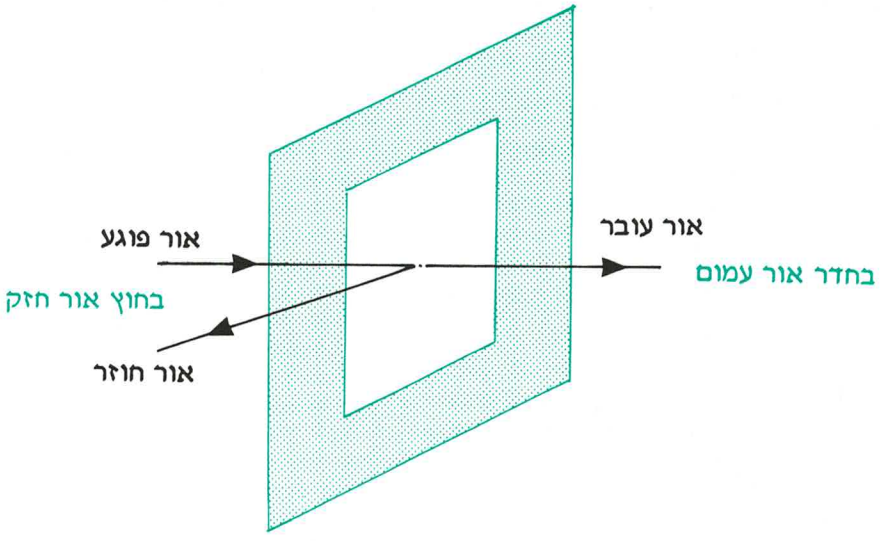
(גם חלק מן האור יכול ליצור דמות, אם כי לא בצורה ברורה כמו מראה המחזירה את כל האור./חלק הקרניים שעובר את המראה יפריע ליצירת הדמות).

את המראות האלה מייצרים על ידי ציפוי של חומר שקוף (זכוכית או חומר פלסטי) בשכבה מחזירה דקה ביותר, כך שרק חלק מהאור מסוגל לחדור דרכה. מראות מחזירות בחלקן בונים גם על ידי שימוש בתערובת של חומרים מיוחדים בעת ייצור הזכוכית, המשמשת לבניית המראה. עובי הציפוי או טיב החומרים וריכוזם קובעים איזה אחוז מן האור יוחזר ואיזה יועבר על-ידי המראה.

13. מראות מחזירות בחלקן משמשות ליצירת סוג מסוים של משקפי שמש. אדם המרכיב משקפיים כאלה קולט רק חלק קטן מהאור הפוגע בעדשות המשקפיים שלו, ואילו רוב האור הפוגע מוחזר מן העדשות. אם נתבונן באדם המרכיב משקפיים כאלה, לא נוכל להבחין בעיניו, אלא

1 _____ (המשקפיים ייראו בהירים מאוד/נראה את דמותנו משתקפת בהם).

14. באמצעות מראות מחזירות בחלקן אפשר לבנות חלונות שדרכם ניתן לראות מתוך החדר את המתרחש בחוץ, אך מבחוץ אי אפשר לראות את המתרחש בחדר.



ציור 28: מראה המחזירה כ-90% מהאור הפוגע בה ומעבירה כ-10% ממנו

במשך היום, האור בחוץ חזק יותר מאשר האור בתוך החדר. רוב האור שרואה אדם העומד בחוץ ומביט דרך החלון יהיה (1) _____ (אור חוזר/אור עובר), ולכן האדם יראה היטב (2) _____ (את דמותו/את מי שנמצא בתוך החדר).

אדם שנמצא בחדר יראה את הנעשה בחוץ בעזרת אותו חלק של האור (3) _____ (שחזר מן/שעובר דרך) החלון.

מה לדעתך יקרה, אם אור החדר יהיה חזק, ואילו בחוץ יהיה אור חלש יותר? (4) _____

(המראה תפסיק להיות מחזירה בחלקה/האנשים בחוץ יראו את האנשים שבחדר).

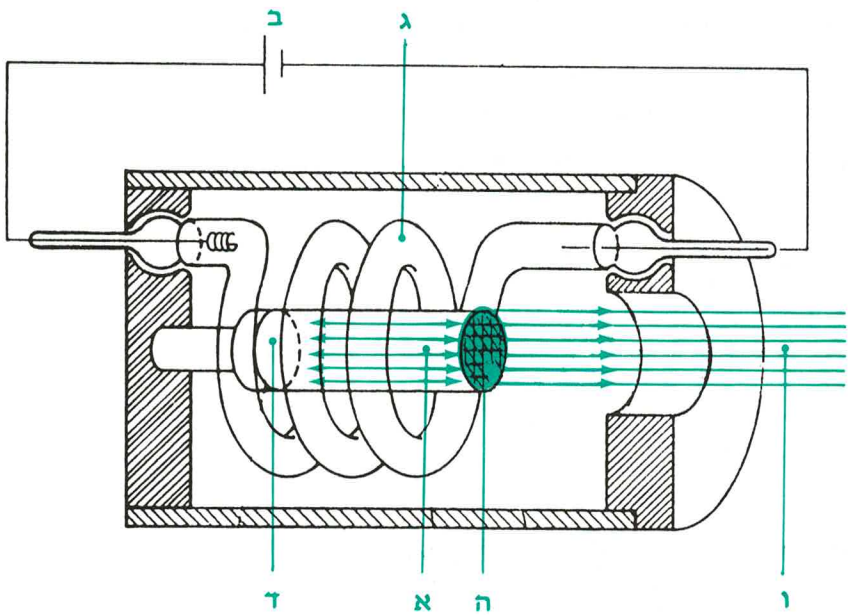
15. **לייזרים**

שימוש נוסף למראות מחזירות בחלקן הוא במכשירי לייזר.

לפניך ציור של מכשיר לייזר. המכשיר בנוי מחומר (א) המסוגל לקלוט אנרגית אור במידה רבה. החומר מוקרן מכל עבריו בקרינת אור, המגיעה מהמנורה הלוליינית (ג). המנורה מפיצה את אנרגית האור כתוצאה מחיבורה לספק החשמלי (1) _____ [(ב)/(א)]. מראה (ד) היא מראה מישורית רגילה המחזירה את כל קרני האור שפגעו בה. מראה (ה) מחזירה כ-95% מהאור הפוגע בה, ומעבירה (2) _____ (כ-95%/כ-5%). זוהי מראה מחזירה (3) _____ (במלואה/בחלקה).

ב.2

בין שתי המראות (ד) ו-(ה) נמצא חומר הקולט את אנרגית האור (א) ומייצר בעזרתה את אור הלייזר. אור זה הולך וחוזר בין שתי המראות ועקב כך גדלה עוצמתו כל הזמן. מראה (ה) מעבירה החוצה חלק קטן מן האור _____ (4) (כ-20%/כ-5%). חלק זה של האור שעובר את המראה _____ (5) [(ד)/(ה)] מן השפופרת החוצה הוא זה שמהווה את אלומת קרני הלייזר (ו).



מקרא:
(א) חומר מיוחד הקולט אנרגית אור
(ב) ספק חשמלי
(ג) מנורה לוליינית
(ד) מראה
(ה) מראה מחזירה בחלקה
(ו) אלומת הלייזר

ציור 29: מכשיר לייזר

נסכם:

א. מראה המחזירה בחלקה: מחזירה חלק מקרני האור הפוגעות בה ומעבירה את השאר.

ב. במכשיר לייזר יש שתי מראות, האחת מחזירה בחלקה והאחרת היא מראה מישורית רגילה.

16. לשם חזרה השלם את המשפטים שלפניך.

1. לפריסקופ _____ (1) (שתי/שלוש) מראות _____ (2) (כדוריות/מישוריות) הנטויות בזווית של _____ (3) (30°/45°/90°).
קרן אור המגיעה אל המראה המישורית הראשונה בזווית פגיעה של 45° מוחזרת אל _____ (4) (הדמות/המראה המישורית השנייה). הזווית בין הקרן הפוגעת במראה הראשונה למוחזרת ממנה היא _____ (5) (0°/90°/45°).
במצב זה, פוגעת קרן האור במראה השנייה בזווית פגיעה של _____ (6) (0°/90°/45°). היא מוחזרת אל _____ (7) (הדמות/העין/המראה הראשונה). המשכה של הקרן הנעה אל העין יוצרת את תחושת ראייתו של _____ (8) (העצם/הדמות).

2. נתון חדר הצופה לרחוב שבו החלונות עשויים ממראות המחזירות אור בחלקן. ביום בו השמש זורחת, רואה אדם היושב בחדר האפלולי בעיקר את _____ (1) (דמותו/הרחוב). כי מספר קרני האור העוברות את החלונות מבחוץ _____ (2) (קטן/גדול) בהרבה ממספר הקרניים _____ (3) (העוברות/החוזרות) מהחדר ובונות את _____ (4) (הדמות/העצם).
מצב הפוך קורה כאשר החדר מואר באור חשמל ובחוץ יום מעונן. אדם יראה היטב את _____ (5) (הרחוב/דמותו) כי מספר קרני האור הפוגעות במראה ומוחזרות ממנה _____ (6) (גדול/קטן) יותר ממספר קרני האור _____ (7) (המוחזרות/המועברות) מבחוץ אל החדר.

3. מקור האור שיוצר את אור הלייזר הוא ב _____ (1) (מראה המחזירה בחלקה/מנורה לוליינית). האור המגיע מהמנורה הולך _____ (2) (ומוגבר/ומוקטן) בתוך החומר **הקולט** אנרגית אור.
המראות המישוריות מסייעות בהגברת אנרגית האור כי הן גורמות לקרני האור לנוע _____ (3) (בכיוון אחד/הלוך וחזור) בתוך החומר.
המראה המישורית המחזירה בחלקה, מעבירה _____ (4) (95%/5%) קרני אור לייזר החוצה, והיא מחזירה _____ (5) (95%/5%) מהאור.

2.ג מראות כדוריות

1. מראה קמורה, מראה קעורה

לא כל המראות המוכרות לנו הן מראות מישוריות.

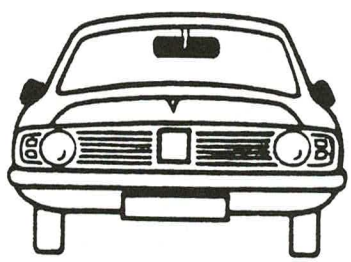
לפניך שתי מראות, האחת קעורה והאחרת קמורה. התבונן במראות והעבר עליהן את אצבעות ידיך, תאר את תחושתך:

(1) _____

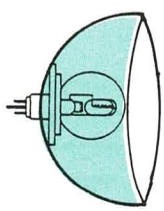
המראה הקעורה היא זו הנראית כמו צלחת מרק (או: קערת מרק), ולשנייה, הקמורה, צורה של כיפה. למראות אלו שימושים מגוונים בתחומי הטכנולוגיה ובחיי היום יום. התבונן היטב במכונית הראשונה המזדמנת לפניך:

המראה המחזירה את האור בפנס המכונית היא _____ (2)
(קמורה/קעורה/מישורית).

המראה שבתוך המכונית היא _____ (3) (מישורית/קמורה/קעורה).

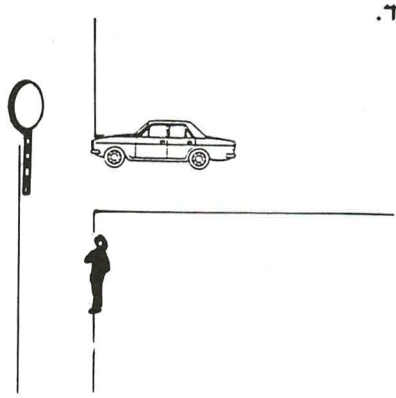


ציור 30: מראה בתוך המכונית



פנס מכונית

בפינת רחוב שבו אין רואים את הרכב המתקרב לצומת מתקינים מראה _____ (4) (מישורית/קמורה/קעורה). זאת, כדי שהצופה יבחין ברכב בעוד מועד.

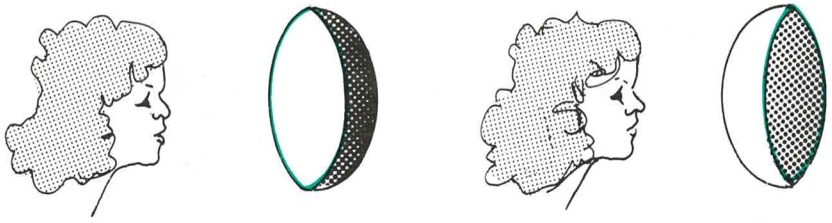


2. המראות הלא מישוריות, הנוחות ביותר לייצור, הן מראות שצורתן כיפה כדורית שנחתכה מכדור זכוכית לא מלא. מראות אלה נקראות בשם: "מראות כדוריות".

את כיפת הזכוכית הכדורית, המשמשת כמראה, אפשר לצפות בשכבה מחזירה בשני אופנים:

.2

אם מצפים את צדו הפנימי של הכדור מקבלים **מראה כדורית קמורה**. אם מצפים את צדו החיצוני של הכדור מתקבלת **מראה כדורית** _____ (קמורה/קעורה).

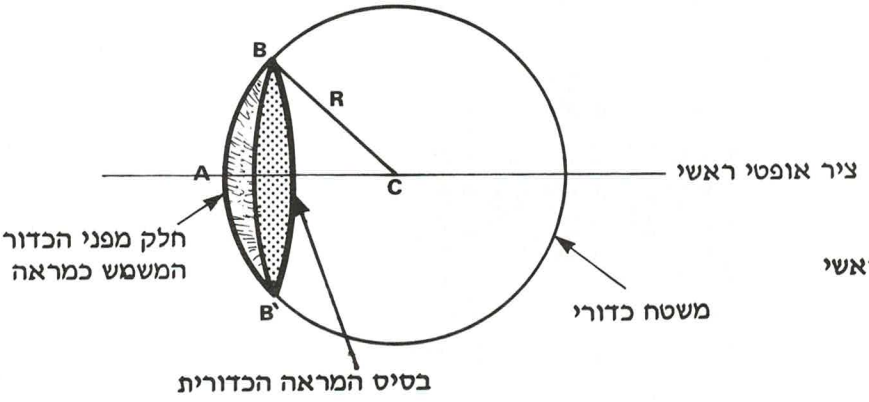


א. מראה קמורה.
הצד הפנימי של הכיפה
מצופה בחומר מחזיר.

ב. מראה קעורה.
הצד החיצוני של הכיפה
מצופה בחומר מחזיר.

ציור 31: מראות כדוריות

.3 מבנה המראה



A = קודקוד המראה
BB' = מיפתח המראה
C = מרכז הכדור
AC = חלק מהציר האופטי הראשי
R = רדיוס העיקום

ציור 32: מושגים יסודיים הקשורים במבנה של מראות כדוריות

בציור 32 מסורטט מבנה של כיפה כדורית העשויה זכוכית, היכולה לשמש כמראה קעורה או _____ (מישורית/קמורה).

מרכז **הכדור** שממנו נלקח החלק המשמש כמראה, מסומן באות _____ (C/A). הנקודה A היא מרכז המראה ונקראת בשם **קודקוד המראה**.

הישר AC [(שהוא גם _____ (קוטר/רדיוס)] הכדור, והמשכו לשני הכיוונים, נקרא **ציר אופטי ראשי** של המראה.

נוהגים לקרוא לישר הזה "הציר האופטי" או בקיצור "הציר". לכל מראה כדורית יש **"רדיוס עיקום"** R, שהוא למעשה רדיוס הכדור שממנו נחתכה המראה.

הישרים BC, ו-AC הם _____ (קטרי/רדיוסי/מיתרי) העיקום של המראה הכדורית.

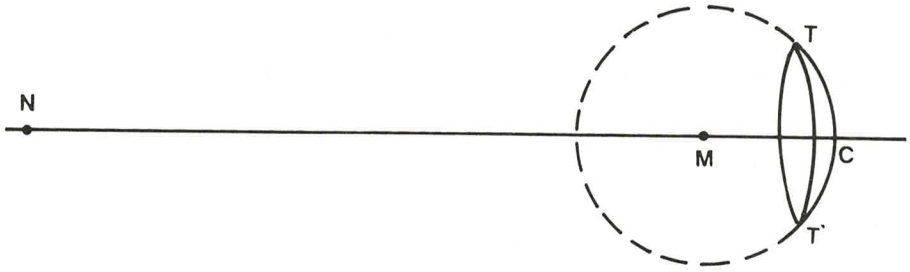
הקו העקום המסומן בצבע משמש כהיקף של _____ (הריבוע/המלבן/המעגל) הקטן המשמש **כבסיס** הכיפה הכדורית של המראה.

.3 קוטר מעגל זה _____ (BB'/AC) נקרא בשם מיפתח המראה הכדורית.

מרבית המראות הכדוריות הן שטוחות באופן יחסי. במצב זה, רדיוס העיקום שלהן R, _____ (קטן/גדול) לעומת גודל המיפתח _____ (BB'/BC).

ככל שהמראה הכדורית שטוחה יותר, רדיוס העיקום שלה _____ (גדל/קטן), וצורתה מתקרבת לצורה של מראה _____ (קעורה/מישורית/קמורה).

.4 רשום בציור 33 את המונחים הנכונים. שים לב! בציור זה נעשה שימוש באותיות שונות מאשר בציור 32.



ציור 33: מבנה מראה קעורה

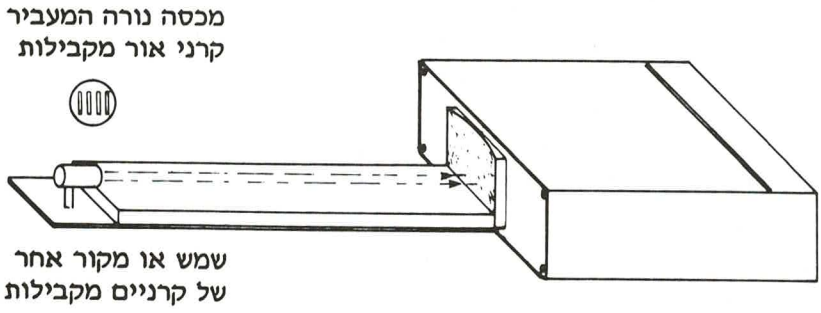
המיתר 'TT נקרא בשם: _____

הנקודה C נקראת בשם: _____

הישר NMC נקרא בשם: _____

הקטע MC נקרא בשם: _____

.5 מוקד וריחק מוקד



ציור 34: החזרת קרני אור מקבילות לציר המראה, ממראה קעורה

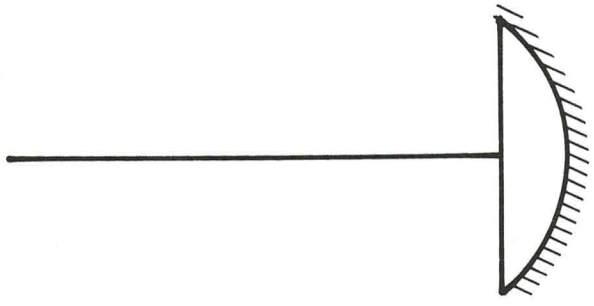
הצב את המראה הקעורה על משטח נייר כמתואר בציור 34. סרטט על הנייר את צורת המראה. העבר את המיתר 'TT. חצה את המיתר ובנה לו אנך (ציור 36). האנך הוא הציר האופטי של המראה. כסה את הנורה בלוח חריצים. הדלק את הנורה. ודא שהאור היוצא מהחריצים יצור קווים מוארים מקבילים לציר האופטי של המראה. סרטט על הנייר הפרוש את

או"ג 7

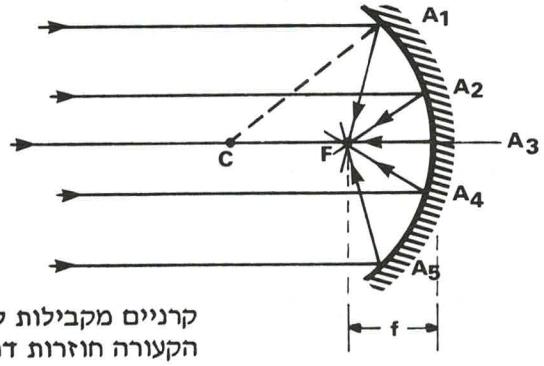
.5 הקווים _____ (המקבילים/המתפזרים) שיתארו את קרני האור המגיעות למראה.

שים לב, כי קרני האור מוחזרות מהמראה הקעורה כך שהן עוברות דרך נקודה אחת.

סרטט בציור 35 את הקרנים המוחזרות מהמראה וסמן את נקודת הפגישה שלהן. נקודה זו נקראת **נקודת המוקד** או בקיצור, **המוקד** של המראה הקעורה.



ציור 35: סרטוט נתוני מראה קעורה שבניסוי או"ג 8



קרניים מקבילות לציר המראה הקעורה חוזרות דרך נקודת המוקד

ציור 36: מוקד F ורוחק מוקד f

.6 נקודת המוקד מסומנת באות F (לציון המלה "Focus", שפירושה "מוקד" באנגלית). הרוחק בין F ובין קודקוד המראה נקרא בשם: "**רוחק המוקד**" של המראה. רוחק המוקד יסומן באות f. מדוד את רוחק המוקד של המראה הקעורה בה השתמשת בניסוי: _____ ס"מ.

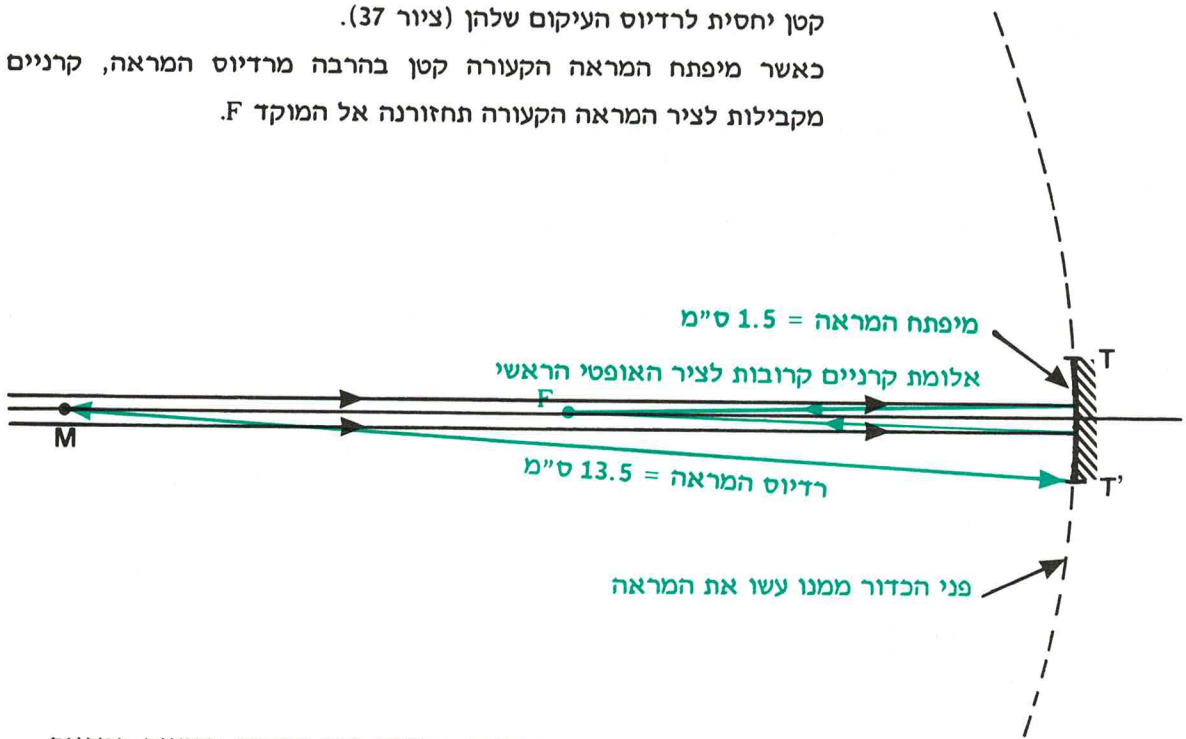
רוחק המוקד f שווה בגודלו למחציתו של רדיוס המראה הקעורה R.

$$f = \frac{R}{2}$$

מכאן שרדיוס המראה שבה השתמשת הוא _____ ס"מ.

שים לב! התכונה שקרניים מקבילות חוזרות דרך נקודה אחת, מתקיימת **בקירוב טוב** רק עבור קרניים שאינן מרוחקות יותר מדי מן הציר האופטי הראשי. במלים אחרות: המראות הקעורות שמקיימות את התכונה הזאת עבור כל הקרניים המקבילות לציר המראה, חייבות להיות בעלות מיפתח

קטן יחסית לרדיוס העיקום שלהן (ציור 37).
כאשר מיפתח המראה הקעורה קטן בהרבה מרדיוס המראה, קרניים מקבילות לציר המראה הקעורה תחזורנה אל המוקד F.



ציור 37: כאשר מיפתח המראה הקעורה קטן בהרבה מרדיוס המראה. קרניים מקבילות לציר המראה הקעורה תחזורנה אל המוקד

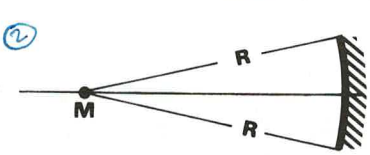
נסכם:

א. קרניים המקבילות לציר האופטי הראשי של מראה קעורה וקרובות אליו, מוחזרות לנקודה אחת הנקראת: "נקודת המוקד של המראה". נקודה זו מסומנת באות F.

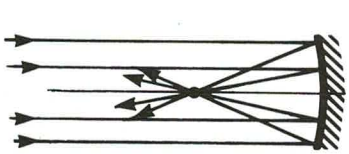
ב. המרחק של נקודת המוקד ממרכז המראה נקרא בשם: רוחק המוקד f. רוחק המוקד שווה למחצית רדיוס המראה.

$$f = \frac{R}{2}$$

7. מדוד בסרגל בציור 38 א' את רדיוס המראה וחשב את רוחק המוקד f.
מדוד בסרגל בציור 38 ב' את רוחק המוקד _____ (R/f) וחשב את רוחק המוקד _____ (R/f).

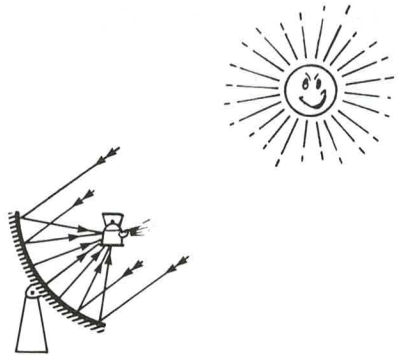
א 

_____ ס"מ = R _____ ס"מ = f

ב 
_____ ס"מ = R _____ ס"מ = f

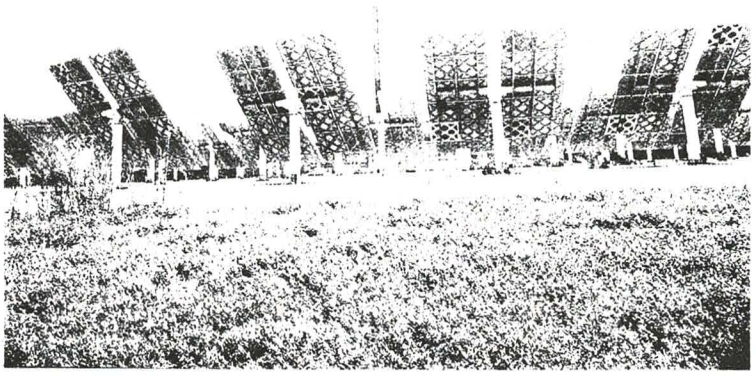
ציור 38:
א' - מראה בעלת רדיוס עיקום R, f=?
ב' - מראה בעלת רוחק מוקד f

8. התרשים שבציור 39 מתאר תנור שמש. תנור שמש הוא מראה קעורה
(1) _____ (המפזרת/המרכזת) את קרני השמש המקבילות למוקד
המראה. כל האנרגיה שמגיעה מהשמש אל המראה מתרכזת
(2) ב_____ (מרכז/מוקד) שלה. במוקד מניחים את הגוף שאותו
מבקשים לחמם. ככל ששטח המראה גדול יותר, כך היא מרכזת כמות
(3) אנרגיה _____ (קטנה/גדולה) יותר במוקד. כמות החום
שמצטברת במוקד היא גדולה מאוד. בתנורים מסוימים הצליחו להגיע
בנקודה זו עד טמפרטורה של כ-5000 מעלות צלסיוס.

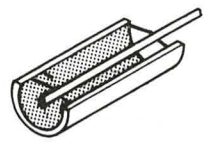


ציור 39: תנור שמש מרתיח קומקום מים

9. הצילום שלפניך (ציור 40) מדגים שיטה לריכוז קרני השמש על ידי
החזרתן משדה נרחב לאזור חימום קטן. הצילום מראה מראות
(1) _____ (ישרות/קעורות) רבות המסודרות במעגלים בעלי
(2) _____ (רדיוס/מרכז) זהה. המעגלים הולכים ומתרחבים. אוסף
כזה של מראות מכונה **שדה מראות** או **שדה שמש**. הנקודה המאירה
שבצילום היא נקודת מוקד **משותפת** לכל המראות הקעורות שבשדה
השמש. כמות החום המצטברת בנקודה זו היא עצומה. היא תלך ותגדל
(3) ככל _____ (שיקטן/שירבה) מספר המראות בשדה.



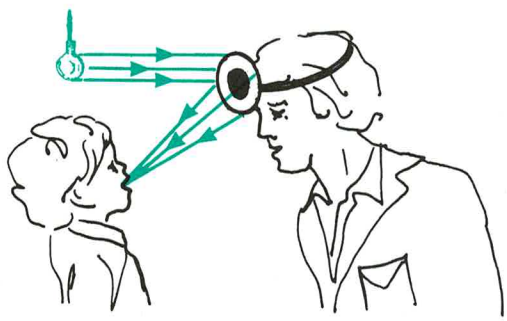
ציור 40: שדה שמש (באדיבות משרד האנרגיה)



ציור 41:
רצועה של גליל המהווה מראה קעורה

10. במערכות שמש מסוימות, המשמשות לחימום מים או להפקת חשמל, משתמשים במראות קעורות גליליות, כדי לחמם צינורות בהם עובר נוזל החימום. במצב כזה כל רצועה של הגליל (ציור 41) היא מראה _____ (קמורה/קעורה/מישורית). אותו חלק של הצינור העובר דרכה הוא _____ (מוקד/מרכז) המראה. הצינור כולו מהווה מערכת של מוקדים המתחממים מקרני השמש המקבילות לציר _____ (הסיבוב/האופטי) של המראות.

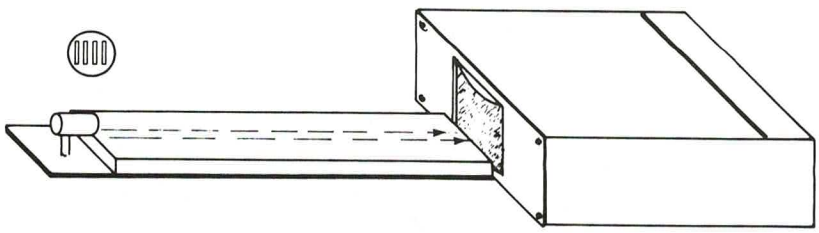
11. רופא אף אוזן וגרון משתמש אף הוא בתכונת המראה הקעורה לרכז קרני אור. הוא מחבר מראה קעורה אל מצחו (ציור 42), ומדליק מנורה מעל לנבדק. קרני האור נעות מהמנורה למראה, כשהן _____ (מקבילות ל/מתפזרות מה) ציר האופטי שלה. מוקד המראה נמצא _____ (מחוץ/בתוך) הגרון של הנבדק. התאורה החזקה שהרופא מקבל בגרון מאפשרת לו לבצע את הבדיקה הרפואית.



ציור 42: רופא אף אוזן וגרון מאיר אור חזק פנימה באמצעות מראה קעורה מרכזת. הוא מתבונן דרך חור במראה

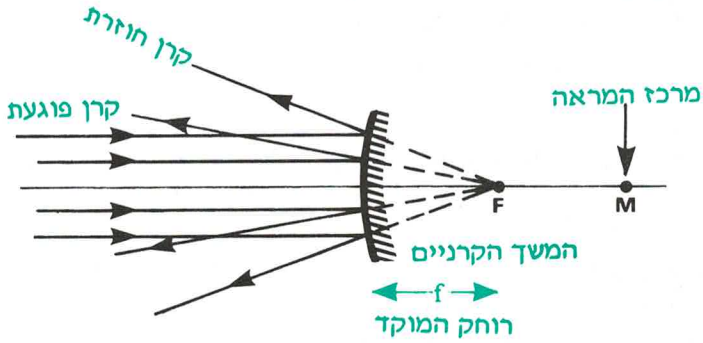
12. **מראה קמורה**

קח דף נייר חדש ארוך יותר מאורך הקרש. קפל אותו כך שחלקו הארוך יהיה מודבק על הקרש. החלף את המראה הקעורה מניסוי או"ג 7, סעיף ג.2 .5 במראה קמורה. צייר על הנייר המקופל את חתך המראה _____ (המישורית/הקמורה/הקעורה) וסמן עליו את הציר האופטי _____ (המשני/הראשי) שלה. הדלק את הנורה. כוון את המראה כך שהקרן האמצעית של הקרניים המקבילות תהיה **על הציר** האופטי הראשי. צייר על הדף את הקרניים הפוגעות במראה והחוזרות ממנה (ציור 43).



ציור 43: ניסוי במראה קמורה

13. מהציור הנך רואה שהקרניים החוזרות מהמראה הקמורה _____ (מתרכזות/מתפזרות). יישר את חלק הנייר המקופל. צייר את **המשך** הקרניים החוזרות מהמראה בחלק המקופל של הנייר. רואים כי **המשכי** הקרניים מתרכזים בנקודה אחת. נקודה זו היא **מוקד** המראה הקמורה F (ציור 44). במראה זו הקרניים _____ (הפוגעות/החוזרות) מהמראה **אינן** נפגשות, אלא רק **ההמשכים** שלהן. לכן נקרא מוקד זה מוקד **מדומה**. גם כאן קיים המושג **רוחק מוקד** f. כלומר, המרחק בין _____ (המרכז/המוקד F) לבין _____ (קודקוד/מרכז) המראה. כמו במראה קעורה, רוחק המוקד שווה _____ (למחצית/לרבע) רדיוס R של המראה.



ציור 44: מוקד מראה קמורה

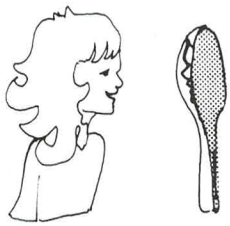
נסכם:
במראה קמורה קרני האור, הנעות במקביל לציר האופטי של המראה, חוזרות מפוזרות. **ההמשכים** שלהן נפגשים מאחורי המראה, בנקודת המוקד המדומה שלה.

14. בניית דמויות על פי מראות כדוריות

או"ג 9

התבונן בדמות עצמך, הנראית במראה כדורית קעורה ובמראה כדורית קמורה. אם אין ברשותך מראות כאלה, תוכל להסתפק בכף מרק שטוחה או בכפית מבריקה, כשפעם תסתכל בה מצדה הקעור ופעם - מצדה הקמור. הרחק את המראה (או את הכף) וקרב אותה אליך לסירוגין. שים לב **לשינויים** בדמות הנראית לך באופן ברור **במראה**. התבונן גם בהשתקפות עצמים אחרים במראה.

ציור 45:
השתקפות בכף מרק מצדה הקעור



ציור 46:
השתקפות בכף מרק מצדה הקמור

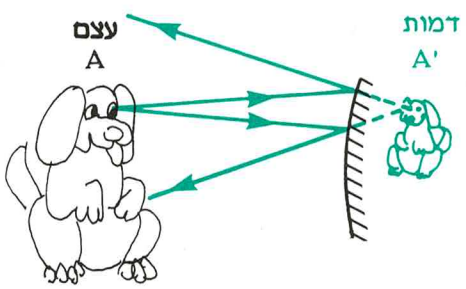
.14 סכם בטבלה שלפניך את תוצאות ההתבוננות (מחק את המיותר והשלם את החסר):

		במראה קעורה	במראה קמורה	במראה מישורית
.1	האם נוצרת דמות?	① כן/לא	② כן/לא	③ _____
.2	כיוון הדמות	④ תמיד ישר/תמיד הפוך/ תלוי במרחק מהמראה	⑥ תמיד ישר/תמיד הפוך/ תלוי במרחק מהמראה	⑥ _____
.3	גודל הדמות יחסית לגודל העצם	⑦ תמיד מוגדל/תמיד מוקטן/ שווה לגודל העצם/ לפעמים מוגדל ולפעמים מוקטן בהתאם למרחק העצם מהמראה	⑧ תמיד מוגדל/תמיד מוקטן/תמיד שווה לגודל העצם/ לפעמים מוגדל ולפעמים מוקטן בהתאם למרחק העצם מהמראה	⑨ _____

שים לב! את הטבלה יש למלא על פי תוצאות ההתבוננות שערכת בעצמך.

15. .14 סוג הדמויות במראות השונות תלוי במהלך החזרת קרני האור מהן. אופן החזרת קרני האור מהמראות הכדוריות יתואר להלן, וינתן הסבר למקרים השונים.

מלא את העמודה השלישית לגבי מראה מישורית, לשם השוואה עם שאר המראות, על פי זיכרונך. אם אינך זוכר, חזור על הסעיפים 2.ב.1-7 ורשום את המסקנות הנכונות.



ציור 47: קרני האור היוצאות מנקודה אחת של **הגוף** חוזרות מן המראה כאילו שהן באו מנקודה אחת של **הדמות**

16. ראינו שמכל נקודה שבעצם יוצאות אין סוף קרני אור. בציור 47 צוירו שתי קרניים היוצאות מנקודה אחת A.

כפי שרואים מציור 47, קרני האור היוצאות מנקודה A, חוזרות מן המראה הקמורה כאילו שבאו מנקודה אחת 'A. נקודה זו ① _____ ('A/A) היא **הדמות** של נקודת העצם ② _____ ('A/A).

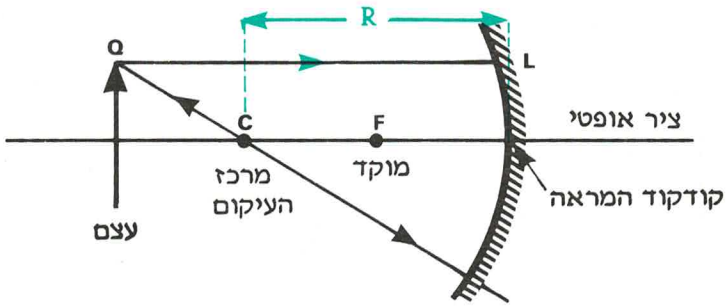
בצורה כזו נוצרת נקודת דמות לכל אחת מנקודות העצם. צירוף כל הנקודות של הדמות יוצר את ③ _____ (הדמות/העצם) כולו/ה.

במראה מישורית ראינו כי **רק** המשך הקרניים המוחזרות מהמראה

נפגשות. במראה קעורה נראה כי קיימת אפשרות שהקרניים החוזרות **עצמן נפגשות.**

17. כדי למצוא את מקומה של הדמות ואת גודלה, נעקוב אחר מהלכן של קרניים אחדות מתוך אין סוף הקרניים היוצאות מהעצם.
קרני האור היוצאות מהעצם נעות _____ (בכיוון אחד/לכל הכיוונים). מקצת מהקרניים האלה פוגעות במראה **ומוחזרות** ממנה. הן או המשכן נפגשות בנקודות הדמות.
נסרטט שתי קרניים מייצגות, היוצאות מנקודה אחת של העצם ונמצא את כיוון החזרתן מן המראה.
מקום המפגש שלהן או של המשכן הוא נקודת הדמות של נקודת העצם.

18. **סרטוט דמות הנוצרת במראה קעורה**
לפניך מראה קעורה בעלת מרכז עיקום C. המרחק בין C לבין קודקוד המראה הוא _____ (רוחק המוקד/הרדיוס) R. _____
(במחצית/ברבע) R סימנו את נקודת המוקד _____ (C/F/L/Q).
נסרטט את מהלכן של שתי קרניים מייצגות היוצאות מנקודת העצם:
1. קרן, הבאה מן הגוף כשהיא מקבילה לציר האופטי (קרן QL);
2. קרן, הבאה מן הגוף ועוברת דרך מרכז העיקום של המראה (קרן QC).



ציור 48: מהלך שתי קרניים מייצגות

18. **כיצד חוזרות שתי הקרניים?**
הקרן העוברת דרך מרכז העיקום C נעה לאורך _____ (הציר האופטי/רדיוס) המראה. מהגיאומטריה אנו לומדים כי בכדור, הרדיוס מאונך לכדור בנקודה שבו הוא פוגע. לכן הקרן הנעה לאורך הרדיוס **חוזרת** על עקבותיה אל מרכז העיקום.
ראינו שהקרן שנעה במקביל לציר האופטי מוחזרת דרך _____ (המוקד/נקודת העיקום), לכן הקרן QL תחזור דרך המוקד F.
מקום מפגש הקרניים החוזרות היא הדמות של הנקודה Q. נקודת הדמות תסומן באות 'Q.

19. עתה תוכל לסרטט בקלות את החזרת שתי הקרניים המצוירות. סרטט זאת בעזרת סרגל על ציור 48. סמן את נקודת הדמות שקיבלת ב-'Q.
שים לב! דרך הנקודה 'Q, עוברות גם **כל** שאר הקרניים שיצאו מנקודה Q וחזרו מהמראה. אנחנו השתמשנו רק בשתי קרניים מייצגות, שאנו יודעים היטב כיצד הן חוזרות.

20. עד עתה, קיבלנו נקודת דמות אחת של העצם. כדי לקבל את הדמות כולה, בצע את ההוראות שלפניך. כשתסיים אותן פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 2 להשוואת פתרונך לפתרון הנכון.
סמן את הנקודה התחתונה של העצם שבציור 48 באות P. סרטט כעת אותו סוג של שתי קרניים מייצגות שתחילתן בתחתית העצם (בנקודה P):
א. צייר את הקרן היוצאת מתחתית העצם **במקביל** לציר האופטי עד שהיא פוגעת במראה. קרן זו תחזור דרך הנקודה _____ (F/C). צייר את הקרן המוחזרת.
ב. צייר את הקרן המייצגת השנייה, היוצאת מתחתית העצם. קרן זו עוברת דרך _____ (המוקד/מרכז העיקום) C ופוגעת במראה. האם תחזור קרן זו מהמראה? אם כן, דרך הנקודה _____ (F/C). צייר את הקרן המוחזרת. מפגש שתי הקרניים **החוזרות** מהמראה היא נקודת **הדמות** של תחתית העצם. סמן נקודה זו באות 'P.
סרטט את הקו המחבר את שתי הנקודות 'Q ו-'P. קו זה הוא הקו עליו נמצאות כל נקודות הדמות. הדמות שקיבלת נוצרת על ידי פגישת הקרניים המוחזרות מהמראה. דמות כזו נקראת דמות ממשית.
שים לב! גם כאשר העצם אינו חץ ישר, תהיה לכל נקודה בעצם נקודה מתאימה בדמות. אוסף כל נקודות הדמות יוצר את הדמות השלמה.
לאחר שסרטטת, בקש מהמורה את שקף הבקרה ש. או"ג 2 ובדוק את סרטוטך.

ש. או"ג 2

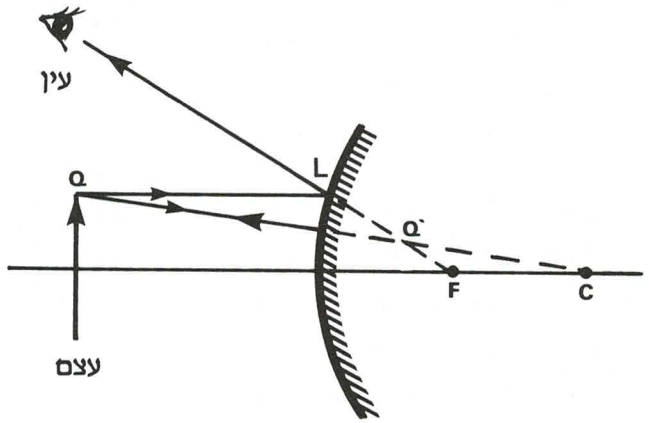
קיבלת כאן דמות _____ (ישרה/הפוכה), _____ (ממשית/מדומה) _____ (מוקטנת/מוגדלת).

שים לב! אסור להסיק מן התיאור שלעיל, שמראה קעורה יוצרת **תמיד** דמות מוקטנת **ותמיד** הפוכה. אופייה של הדמות **תלוי במרחק העצם מהמראה**, כפי שנראה בהמשך פרק זה.

21. **סרטוט דמות הנוצרת במראה קמורה**

השיטה שהשתמשת בה כדי לקבל את מקומה של הדמות במראה קעורה, טובה גם למראה קמורה. ההבדל בין שני המקרים הוא, שבמראה הקעורה נמצאים נקודת המוקד ומרכז העיקום באותו צד של המראה בו

נמצא העצם (לפני המשטח). במראה קמורה נמצאים נקודת המוקד ומרכז העיקום מן העבר האחר של המראה (אחרי המשטח).



ציור 49: סרטוט קרניים המסבירות יצירת דמות במראה קמורה

22. נתאר את מהלך קרני האור המיוצגות היוצאות מנקודה Q. הקרן QL יוצאת מ-Q במקביל לציר האופטי. לכן היא חוזרת מן המראה (בנקודה L) כאילו באה מנקודת המוקד (1) _____ (הממשי/המדומה) F.
קרן QC יוצאת מ-Q בכיוון מרכז העיקום של המראה (C). לכן היא פוגעת במראה הקמורה במאונך לשטח מישורי מחזיר קטן ולכן היא חוזרת (2) _____ (על עקבותיה/במקביל לציר האופטי).
שתי הקרניים המייצגות, שנראות בציור 49, חוזרות מן המראה כך שההמשכים שלהן נפגשים בנקודה (3) _____ (Q'/C). העין רואה בנקודה זו את מקור הקרניים הבאות אליה, ולכן שם נראית לה הדמות.

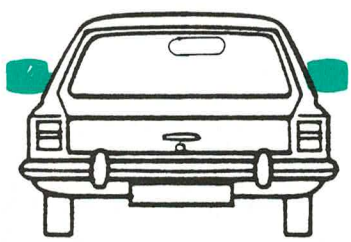
23. מלא את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 3 כדי להשוות את פתרונך לפתרון הנכון.
סמן את הנקודה התחתונה של העצם בציור 49 באות P. סרטט מנקודה זו אותו סוג של קרניים מייצגות, כך שאחרי חזרתן מן המראה הן יראו כאילו באו מנקודת התחתית של הדמות (אותה תסמן ב-P'). חבר את שתי הנקודות הקיצוניות P' ו-Q'. הקו שקיבלת הוא הקו עליו נמצאות כל נקודות הדמות. הדמות שקיבלת נוצרת על ידי המשך הקרניים. זוהי דמות מדומה.
שים לב! גם כאשר העצם אינו חץ ישר, תהיה לכל (1) נקודה בעצם נקודה מתאימה בדמות. אוסף כל נקודות הדמות יוצר את _____ (הדמות השלמה/העצם השלם).
לאחר שסרטטת, בקש מהמורה את שקף הבקרה ש' או"ג 3 ובדוק את סרטוטך.

ש. או"ג 3

24. אפשר לראות בציור 49, כי הקרניים, אחרי ההחזרה, נראות כאילו באו מהדמות (2) _____ (שמאחורי/שלפני) המראה. הדמות נוצרה על ידי ההמשכים של הקרניים (3) _____ (הפוגעות ב/המוחזרות מה) מראה. במקרה זה הדמות היא: (4) _____ (ממשית/מדומה).

תכונותיה הנוספות הן שהיא: _____ (ישרה/הפוכה), _____ (מוגדלת/מוקטנת). תכונות אלה של הדמות נכונות **לכל מרחק** של העצם מהמראה הקמורה. דמות כזו רואים כשמתבוננים בכפית מצדה הקמור, דמויות כאלה נוצרות גם במראות פנורמיות של נהגים. בסופרמרקטים ובחנויות כל-בו מוצבות מראות קמורות. תפקידן לשקף שטח רחב של החנות בצורה מוקטנת, כדי שלמוכרים תהיה שליטה על הנעשה בחנות.

נזכיר שוב, למרות השימוש בשתי קרניים מייצגות, כדי למצוא את מקום הדמות, **אין** להסיק מכך, שרק שתי קרניים אלה משתתפות ביצירת הדמות. למעשה, **כל** הקרניים, שיוצאות מאותה נקודה בגוף לכיוון המראה, תורמות ליצירת הדמות. אחרת, לא הייתה נוצרת דמות כלל.



ציור 50: מראת-צד פנורמית קמורה במכונית

נסכם:

את נקודת הדמות אפשר למצוא באמצעות שתי קרניים מייצגות:

קרן אחת: מקבילה לציר האופטי הראשי וחוזרת דרך המוקד.

קרן אחרת: עוברת דרך מרכז העיקום וחוזרת כלעומת שבאה.

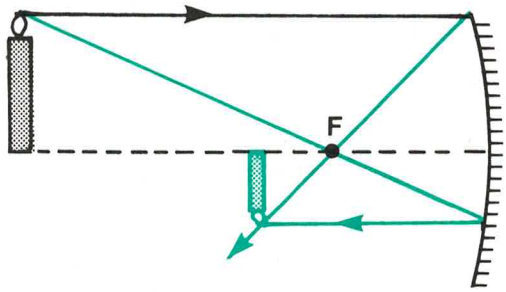
25. דמות מדומה ודמות ממשית

הקרניים החוזרות ממראה מישורית אינן נפגשות. רק המשכי הקרניים נפגשים. לכן קראנו לדמות שנוצרת במראה מישורית בשם: "דמות _____", הדמות נוצרת _____ (לפני/אחרי) המראה.

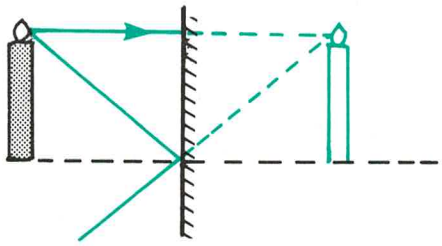
לעומת זאת, המראה בציור 51 א' היא מראה _____ (מישורית/קעורה). רואים כי הקרניים היוצאות מנקודה אחת בעצם חוזרות ממנה והן **עצמן** נפגשות! הן יוצרות בנקודת המפגש דמות _____ (ממשית/מדומה). כשהקרניים חוזרות הן נפגשות _____ (מאחורי/לפני) המראה הקעורה.

מכאן שהדמות הממשית במראה קעורה נוצרת **לפני** המראה.

המשמעות של דמות ממשית היא בכך, שבמקום מפגש הקרניים המוחזרות נוכל להעמיד מסך, חיץ או סרט צילום ונקבל שם דמות. דמות זו הנוצרת ממפגש **ממשי** של קרניים, המוחזרות ממראה נקראת בשם: "**דמות ממשית**".



ציור 51א: הדמות ממשית.
היא נוצרת לפני המראה



ציור 51ב: הדמות מדומה.
היא נוצרת מאחורי המראה

26. האם אפשר לקבל דמות מדומה על מסך? _____ (1)
נמק. _____ (2)
_____

רמז: דמותך הנראית במראה מישורית רגילה - היא דמות מדומה.

נסכם:
אם הדמות נוצרת ממפגש הקרניים המוחזרות, תהיה הדמות ממשית.
אם הדמות נוצרת ממפגש ההמשכים של הקרניים המוחזרות, תהיה הדמות מדומה.

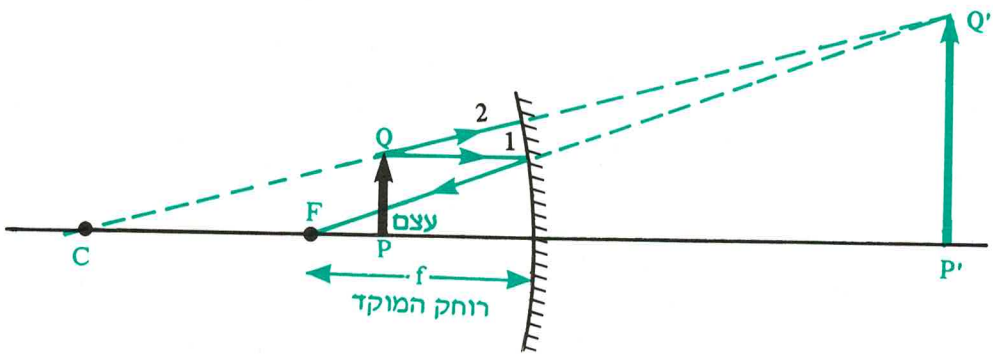
27. נשים לב שוב לכך כי דמות נקראת מדומה **לא** מפני שאין רואים אותה. היא נקראת בשם זה, כי היא נוצרת ממפגש _____ (ההמשך/ממשי) של הקרניים המוחזרות. העין קולטת את הקרניים המוחזרות של דמות מדומה כך, שכאילו מקור הקרנים נמצא בנקודות השונות של הדמות המדומה. בצורה כזאת ראית את דמותך _____ (1) (הממשית/המדומה) מאחורי מראה קעורה (כשהשתמשת בצד הקעור של כף).
כדי שתוכל לראות את דמותך במראה קעורה חייב היית להימצא **לפני** נקודת המוקד שלה.
כללית: עצם הנמצא בין המוקד למראה קעורה יוצר מאחוריה דמות מדומה.

28. נמצא את הדמות המדומה במראה קעורה בעזרת קרני האור המייצגות שלנו (ציור 52). (2)
קרן 1 היוצאת מ-Q נעה _____ (במאונך/בזווית/במקביל) לציר האופטי הראשי של המראה. (3) היא חוזרת דרך המוקד _____ (C/F). קרן 2 יוצאת גם היא מ _____ (4) (Q'/Q) מכיוון מרכז העיקום

.28

_____ (C/F). היא חוזרת _____ (דרך המוקד/על עקבותיה). שתי הקרנים המוחזרות _____ (אינן נפגשות/נפגשות) אבל ההמשכים שלהן נפגשים בנקודת הדמות _____ (הממשית/המדומה) Q'. אותו מהלך קרניים נוכל לסרטט עבור הנקודה הנמוכה של העצם P ולקבל את נקודת _____ (העצם/הדמות) P'.

קיבלנו דמות שלמה _____ (ממשית/מדומה) _____ (ישרה/הפוכה) _____ (מוגדלת/מוקטנת).



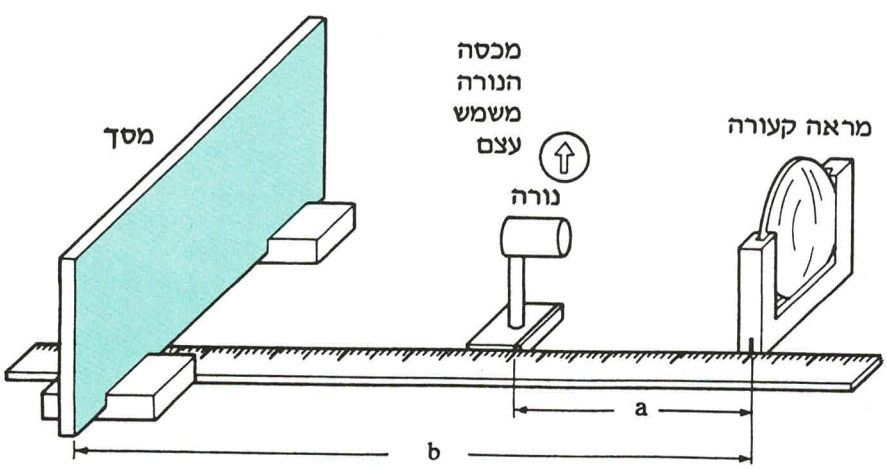
ציור 52: דמות מדומה במראה קעורה הנוצרת על ידי קרניים מייצגות

29. נוסחת המראות הכדוריות

מקומה המדויק של הדמות במראות כדוריות נקבע על פי מקומו של העצם. כדי לקבוע את הקשר בין מקום הדמות למקומו של העצם, נסמן את מרחק העצם מהמראה ב-a.

מרחק הדמות מהמראה תסומן באות b. מהו הקשר בין a ל-b?

בעזרת הניסוי או"ג 10 (ציור 53) נוכל למצוא את מרחק הדמות מהמראה _____ (a/b) כאשר מרחק העצם ממנה _____ (a/b) נתון. זאת, עבור דמויות ממשיות הנוצרות לאחר החזרה מהמראה הקעורה.



ציור 53: מכסה הנורה הוא העצם, הדמות מתקבלת על פני המסך

או"ג 10

30. הצב מראה קעורה במאונך לסרגל המונח על גבי השולחן. במרחק נתון ממנה הנח נורה. מכסה הנורה ישמש לך בתור עצם. הצב מסך במרחק גדול יותר ממרחק העצם מהמראה.

הדלק את הנורה. שנה את מרחק הנורה מהמראה (או את מרחק המראה מהנורה). עשה זאת, עד שתראה דמות **ברורה** של החץ על המסך.

מדוד את המרחקים a ו-b ורשום אותם בטבלה שלפניך. חזור על הניסוי במרחקים שונים a של הנורה מהמראה. רשום את תוצאותיך בשתי העמודות הראשונות של הטבלה, בכל פעם שתקבל דמות ברורה על המסך.

מדידה מס'	a מרחק הגוף מהמראה (ס"מ)	b מרחק הדמות מהמראה (ס"מ)	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{b}$	$C=\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$	$f=\frac{1}{C}$
1	1	2	3	4	5	6
2	7	8	9	10	11	12
3	13	14	15	16	17	18
4	19	20	21	22	23	24
5	25	26	27	28	29	30
					ממוצע:	31

31. שיקולים גיאומטריים מראים שמרחק הדמות מן המראה _____ (b/a) 1
תלוי במרחק הגוף מן המראה _____ (b/a), על-פי הקשר הזה: 2

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

f הוא רוחק המוקד של המראה.

קשר זה נקרא בשם: **נוסחת המראות הכדוריות.**

חשב את $\frac{1}{a}$ ואת $\frac{1}{b}$ ורשום את התוצאות במקומות המתאימים בטבלה.

בעמודה הבאה של הטבלה רשום את סכום שני הערכים שרשמת בעמודות הקודמות (כלומר: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$). לסכום זה נקרא בשם C. לבסוף, בעמודה האחרונה השמאלית של הטבלה, רשום את ערכו של $\frac{1}{C}$ בכל אחת מן המדידות.

האם אתה מגלה מספרים כמעט קבועים בטור האחרון? _____ 3
(כן/לא).

במדידות מדויקות מאוד מתברר, שמספר זה שווה בכל המקרים. מספר זה הוא רוחק המוקד של המראה, כפי שמתקבל מנוסחת המראות _____ (המישוריות/הכדוריות). בטבלה רשום: 4

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = C$$

אבל: $C = \frac{1}{f}$

מכאן: $f = \frac{1}{C}$

הערך המדויק ביותר שקיבלת עבור מרחק המוקד הוא הממוצע של כל המספרים בעמודה האחרונה שבטבלה.

לסיכום:

בניסוי זה בדקת את הקשר:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

כאשר:

a – מרחק העצם מהמראה

b – מרחק הדמות מהמראה

f – מרחק המוקד של המראה.

הקשר הזה ידוע בשם: **"נוסחת המראות הכדוריות".**

32. נוסחת ההגדלה במראות כדוריות

כפי שראית בניסוי האחרון (או"ג 10), מרחק הגוף מן המראה a, קובע לא רק את מקומה של הדמות החדה b, אלא גם את גודלה. נסמן את גודל העצם ב-h, גודל הדמות הוא 'h. היחס בין גודל הדמות _____ (1) ('h/h) ובין גודל העצם _____ (2) ('h/h) הוא $\frac{h'}{h}$.

ליחס זה אנו קוראים בשם: "ההגדלה" של הדמות. כאשר הדמות גדולה מהעצם "ההגדלה" גדולה מ-1. ייתכנו מצבים שבהם הדמות קטנה מהעצם ואז "ההגדלה" _____ (3) (קטנה/גדולה) מ-1.

נסמן את ההגדלה באות m, נקבל:

$$m = \frac{h'}{h}$$

אפשר להראות באופן גיאומטרי, כי יחס זה שווה גם ליחס בין b ל-a, כלומר:

$$m = \frac{b}{a}$$

לפי הקשר הזה אפשר לקבוע אם "ההגדלה" _____ (4) (גדולה/קטנה) מ-1.

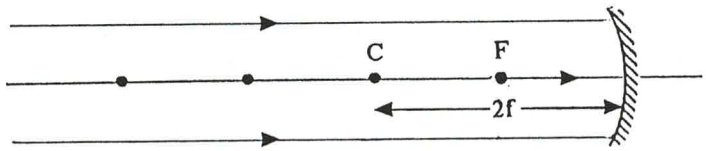
אם b>a (b גדול מ-a) הדמות _____ (5) (גדולה מה/קטנה מה/שווה ל) עצם.

אם b<a ההגדלה m _____ (6) (גדולה/קטנה) מ-1. הדמות _____ (7) (גדולה מה/קטנה מה/שווה ל) עצם.

אם b=a הדמות _____ (8) (גדולה מה/קטנה מה/שווה ל) עצם.

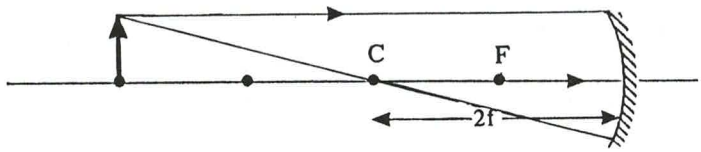
.35

1



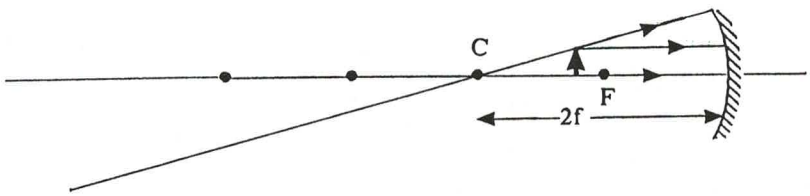
סרטוט א: העצם רחוק מן המראה
a>>2f

2



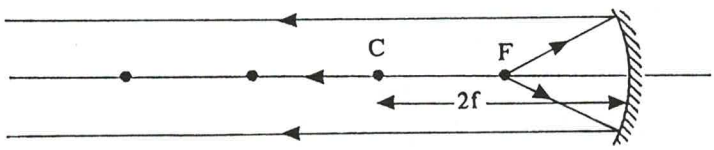
סרטוט ב: הגוף קרוב יותר למראה
a>2f

3



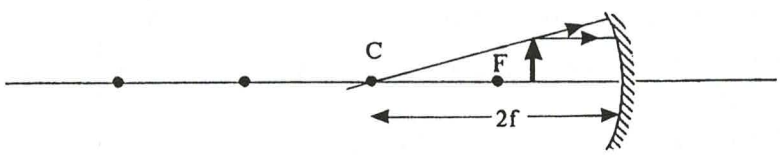
סרטוט ג: הגוף עוד יותר קרוב למראה, בין C ו-F.

4



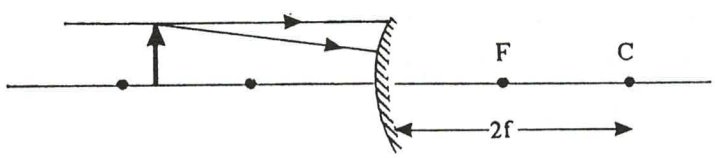
סרטוט ד: הגוף במוקד (F) הקרניים חוזרות מקבילות, נוצרת אלומת אור מקבילה.

5



סרטוט ה: הגוף בין המוקד F לבין המראה. הקרן QA פוגעת במראה כאילו היא באה מ-C. הקרן QB פוגעת במראה במקביל לציר האופטי הראשי.

6



סרטוט ו: גוף לפני מראה קמורה. אחת הקרניים מכוונות לכיוון C, והאחרת מקבילה לציר.

לאחר שתסיים את הסרטוטים, פנה למורה לקבלת שקף הבקרה ש. או"ג 4.

ש. או"ג 4

שים לב!
במראה קמורה נקודת המוקד ומרכז העיקום נמצאים מעברה האחר של המראה. לכן נקבל דמות מדומה, מוקטנת וישרה.

36. לאחר שבדקת את סרטוטיך בעזרת שקפי הבקרה, ענה על השאלות:

1. באילו מקרים הדמות היא ממשית? _____
2. באילו מקרים הדמות היא מדומה? _____
3. באילו מקרים הדמות היא הפוכה? _____
4. באילו מקרים, הדמות היא ישרה? _____
5. באילו מקרים, הדמות היא מוגדלת? _____
6. באילו מקרים, הדמות היא מוקטנת? _____

37. נסכם את תכונותיה של הדמות במראות הכדוריות, במקרים השונים.

מראה קעורה

1. עצם מרוחק מאוד מהמראה $a \gg f$ (a גדול מאוד מ-f) למעשה, קרני אור מקבילות.
   א. מקבילות לציר המראה חוזרות דרך המוקד $b=f$.
   ב. מקבילות לעצמן ולא לציר, חוזרות דרך נקודה אחת הנמצאת במישור המאונך למוקד $b=f$.
2. עצם מרוחק יותר מרדיוס המראה $a>2f$. הדמות נמצאת בין המוקד לרדיוס. $f<b<2f$, הדמות **ממשית, מוקטנת והפוכה.**
3. עצם הנמצא בדיוק על מרכז העיקום $a=2f$. הדמות נמצאת באותו מקום, $b=2f$. **ממשית, שווה לעצם והפוכה.**
4. עצם נמצא בין המוקד ומרכז העיקום $f<a<2f$. הדמות רחוקה מרדיוס העיקום $b>2f$. הדמות **ממשית, מוגדלת והפוכה.**
5. עצם הנמצא במוקד F. $a=f$. מנקודת המוקד מוחזרות קרניים מקבילות לציר המראה. ומכל נקודה אחרת מוחזרות קרניים מקבילות לרדיוס העיקום העובר דרך אותה נקודה.
6. עצם הנמצא בין המוקד למראה $a<f$. הדמות תהיה מאחורי המראה, **מדומה, מוגדלת וישרה.**

מראה קמורה

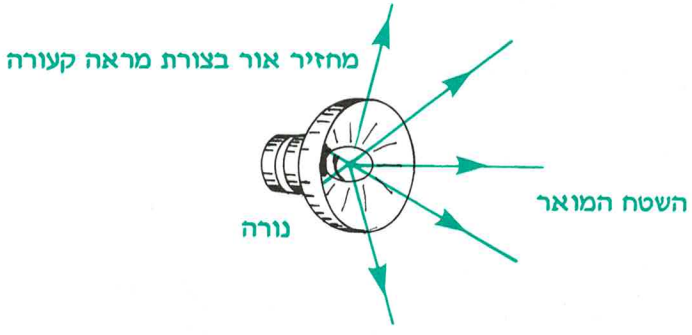
לכל עצם הנמצא לפני המראה, מקבלים בתוך המראה דמות מדומה, מוקטנת וישרה.

38. שימושים במראות כדוריות

למראות כדוריות יש שימושים טכנולוגיים רבים.

א. **פנסים.** קיימים פנסים מסוגים שונים. יש המאירים באור חזק כמו זרקורים ויש פנסי כיס. יש המאירים למרחוק ויש שהאור שלהם מתרכז בקרבת הפנס. כיצד מייצרים פנסים אלה? בכל הפנסים מצויה מראה קעורה מאחורי הפנס, כדי שהאור _____ (יוחזר ממנה/יעבור דרכה) ולא יאבד. (1)

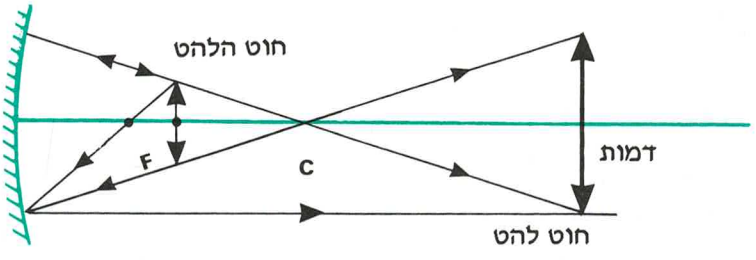
בצורה זו מנצלים במידה מירבית את האור הבוקע מהנורה. ברוב הפנסים מותקנת מראה כדורית, כי באמצעותה נוכל לכוון את קרני האור המוחזרים ממנה כרצוננו.



ציור 56: ניצול מראה קעורה להארת שטח רחב

39. חוט הלהט של הנורה בתוך הפנס משמש כעצם מאיר עבור המראה הקעורה. במה תלויה צורת ההחזרה של האור מהמראה? האם יחזור האור במקביל, במפוזר? הדבר תלוי במקומו של חוט הלהט המהווה את _____ (העצם/הדמות), יחסית למראה. (1)

בפנס המיועד להאיר שטח רחב נמצא חוט הלהט בין המוקד לבין מרכז העיקום של המראה. במצב זה (סרטוט 57) הקרניים מתפזרות כך שהדמות של **חוט הלהט** מתקבלת על השטח המואר. במקרה זה הדמות היא כידוע _____ (מוגדלת/ מוקטנת). (2)



ציור 57:
האור המתקבל בפנס שבו חוט הלהט נמצא בין המוקד F ומרכז העיקום C

נסכם:
האור של פנס כיס הוא האור המוחזר ממראה קעורה של הפנס.
כאשר מקור האור - חוט הלהט - נמצא בין המוקד ובין מרכז העיקום של המראה.

40. ומה בזרקורים?

בזרקורים ובפנסים קדמיים של מכוניות, כאשר מקרינים אור גבוה (רחוק) מסנוור, חוט הלהט של הנורה נמצא **בדיוק** על המוקד או קרוב מאוד אליו.

מהלך הקרניים מתואר בציור 58.

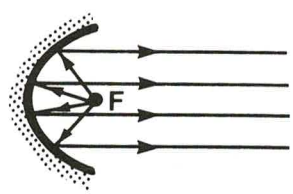
קרני האור היוצאות ממוקד המראה הקעורה מוחזרות ממנה באלומה מקבילה לציר האופטי שלה. הן אינן מתרכזות בנקודה כלשהי, לפיכך הן _____ (יוצרות/אינן יוצרות) דמות ממשית. 1

במקרה כזה אנו אומרים שהדמות "נוצרת" באין-סוף.

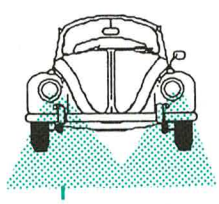
שים לב לכך, שמהלך הקרניים במקרה זה הפוך ממהלך הקרניים שראינו בתנור שמש, בציור 39 סעיף 2. ג. 8, שם הקרניים _____ 2 (מקבילות/מאונכות) לציר המראה פוגעות בה ונפגשות _____ 3 (במוקד/באין-סוף). כאן הקרניים מוחזרות באופן _____ 4 (מקביל/מאונך) לציר האופטי. הן "נפגשות" _____ 5 (באין-סוף/במוקד).

41. אור **קרוב** (נמוך) של פנסי מכוניות היא אלומת אור המאירה את השטח שבקרבת המכונית. זאת כדי לא לסנוור את הבאים מול הרכב.

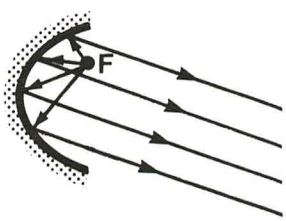
במצב זה חוט הלהט נמצא מעל מוקד המראה _____ 1 (הקמורה/הקעורה) של הפנס. ציור 60 מתאר כיצד מוחזר האור.



ציור 58:
מהלך קרניים כשמקור האור במוקד המראה



ציור 59: אור קרוב



ציור 60:
הקטע המואר על הכביש באור "קרוב"

42. העתק לכאן את סרטוט ה' שבסעיף ג.2.35. השלם בעזרת הקרניים המייצגות את הדמות הנוצרת.

הסרטוט מתאר כיצד משתמשים במראה קעורה כבמראת איפור או כבמראת גילוח. במצב זה דמותך משתקפת במראה כשהיא _____ (1) (ממשית/מדומה) _____ (2) (ישרה/הפוכה) _____ (3) (ומוגדלת/ומוקטנת). תכונות אלה מסבירות לך את יתרון המראה הקעורה על מראות מישוריות. מהו היתרון?

_____ (4)

_____

(דמות ישרה לעומת הפוכה/דמות ממשית לעומת מדומה/דמות מוגדלת לעומת מוקטנת/דמות מוגדלת לעומת דמות בגודל טבעי).

מהו המרחק המירבי של המראה מן הפנים, לצורך שימושים אלה? _____ (5) (2R/R/2f/f).

לא רק את הפנים המוגדלות מחפשים במראה קעורה, לפעמים גם את השיניים. במיוחד כדי לראות את המקומות שהגישה אליהם קשה.

גם רופא השיניים משתמש במראה קעורה קטנה ובה הוא מקבל דמות מדומה _____ (6) (ומוקטנת/ומוגדלת) של השן.

43. **כיוון אורות**

פנס קדמי במכונית כלשהי מכיל מחזיר אור (רפלקטור) קעור. רדיוס העיקום שלו 10 ס"מ.

1. באיזה מרחק ממחזיר האור יש להרכיב את הנורה, כדי שהאור החוזר ממנו יתרכז במרחק של 12.5 מטרים לפני הפנס? התשובה צריכה להיות מדויקת עד לעשירית המילימטר.

נתונים:

f = ס"מ _____ (7)

b = מטר _____ (9) = ס"מ _____ (8)

_____ (10)

a = ?

.43

(שים לב! כדי להשתמש בנוסחת המראות הכדוריות חייבים לבטא את כל המרחקים **באותן יחידות אורך!**)

נוסחת המראות הכדוריות היא: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$

השלם את המספרים החסרים: $\frac{1}{_} = \frac{1}{a} + \frac{1}{_}$

קיבלת משוואה עם נעלם אחד a. פתור אותה.

(11) _____ ס"מ = a

תשובה: יש להרכיב את הנורה במרחק (12) _____ ס"מ מהמחזיר אור.

2. אם לא ידייקו במיקום הנורה, וירכיבו אותה **בשתי עשיריות** מ"מ (!) רחוק יותר מהמרחק הנכון, באיזה מרחק ממחזיר האור יתרכז אור הפנס?

נתונים:

(13) _____ = f ס"מ

(14) _____ = a ס"מ

נקבל מתוך נוסחת המראות:

$\frac{1}{b} + \frac{1}{\cdots} = \frac{1}{\cdots}$ (השלם את המספרים החסרים)

(15) (16)

במשוואה זו הנעלם הוא b, פתור את המשוואה

קיבלת: (17) _____ = b ס"מ שהם (18) _____ = b מטרים

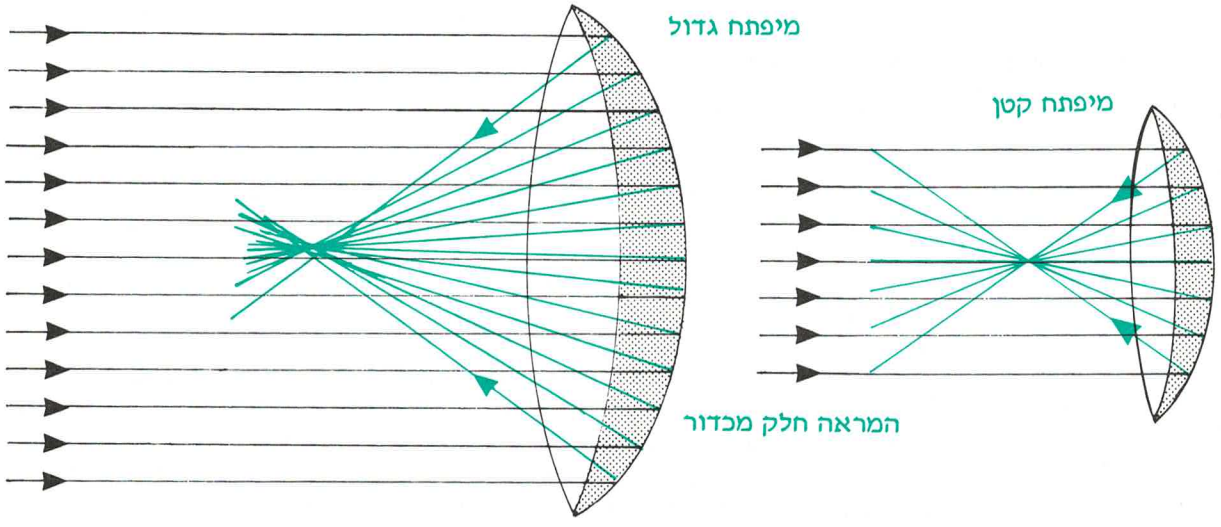
אם קיבלת תשובה שהיא כמחצית המרחק שבחלק א' - קיבלת תשובה נכונה.

שים לב! הזזה כל כך קטנה במיקום הנורה, משנה מאוד את מקום ריכוז האור! תשובה זו מלמדת אותך עד כמה עדינה ומדויקת פעולת כיוון פנסי המכונית.

2.ד מראות פרבוליות

1. עד כה עסקנו במראות כדוריות ובהחזרות אור מהן. המראות שבהן טפלנו היו מוגבלות. המיפתחים שלהן היו _____ (גדולים/קטנים/שווים) ביחס לרדיוסי העיקום שלהן. כמו כן דרשנו שהקרניים המגיעות למראה לא תהיינה רחוקות מן הציר.

ציין איזו מן המראות, המתוארות בציור 61, מתאימה למראות שעסקנו בהן עד כה: _____ (א/ב).

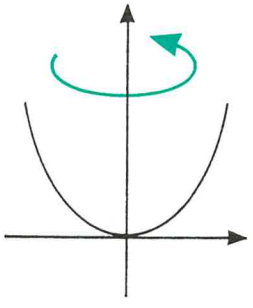


א. מראה בעלת מיפתח קטן

ב. מראה בעלת מיפתח גדול

ציור 61:

2. כאשר המראה מהווה חלק גדול מפני הכדור, הקרניים _____ (המקבילות/המאונכות) לציר המראה תחזורנה כך, שהן תסטנה מנקודת מפגש משותפת. במצב זה מתחילות הדמויות שהמראה יוצרת להיות _____ (חדות/מטושטשות). ההשפעה של מיפתח גדול על קרניים מקבילות מתוארת בציור 61 ב'. הקרניים _____ (אינן חוזרות/חוזרות) בדיוק דרך נקודה אחת (נקודת המוקד). לתופעה הזאת קוראים בשם: "**סטייה כדורית**". את הסטייה הזאת אפשר לתקן, אם משתמשים בצורה אחרת של מראה במקום המראה הכדורית. הצורה המתאימה היא פרבולה.* המראה, שצורתה כפרבולה, נקראת "**מראה פרבולית**" ובה המרכז עמוק במקצת בהשוואה למראה הכדורית.

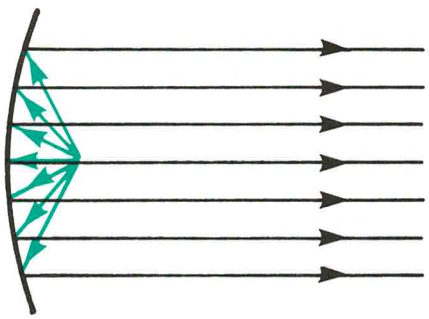


ציור 62: פרבולה שמשוואתה $y = ax^2$

---

* פרבולה היא קו עקום המתקבל על ידי ציור הגרף $y = ax^2$. אם תסובב את הפרבולה סביב ציר ה-y תקבל **משטח זהה לצורת** המראה הפרבולית.

3. במראה פרבולית מתרכזות כל הקרניים המקבילות לציר בדיוק בנקודת המוקד. כמו כן, אור היוצא מנקודת המוקד של מראה פרבולית, יוחזר באלומה מקבילה לציר המראה (גם אם המראה היא בעלת מיפתח גדול). מצב זה מתואר בציור 63:



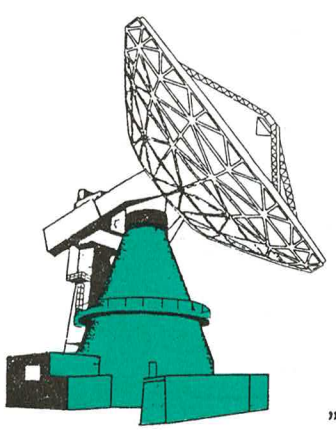
ציור 63: מראה פרבולית: לחתך המראה צורת פרבולה

הצורך לתקן את הסטייה _____ (איזו?), הנגרמת במקרה שמיפתח המראה הכדורית גדול, הוא הגורם לתכנון מראות פרבוליות בפנסים של מכוניות או בזרקורים.

4. עוד דוגמה לשימוש במראות פרבוליות היא: אנטנות "הצלחת". אנטנות אלה נועדו לקלוט קרניים שמקורן בלוויני התקשורת. שידורי הלווין מוחזרים ממראה באותה צורה שמוחזרות ממנה קרני אור. כדי לרכז קרינה בעוצמה רבה, יש צורך בשטח אנטנות גדול. לכן בונים "צלחות" פרבוליות גדולות, יחסית. האנטנה הקולטת חייבת להימצא בדיוק בנקודת המוקד שלהן (ציור 64).

אנטנות "הצלחת" הן מראות _____ (כדוריות/פרבוליות). במקום לקלוט אור הן קולטות את הקרינה המשודרת מן _____ (השמש/הלווין) ומחזירות אותה במרוכז בדיוק לנקודת המוקד.

ייצור של מראות **פרבוליות** קשה ויקר מייצור מראות כדוריות. לכן, בהרבה מקרים, בהם אין צורך בהחזרה מושלמת ומדויקת, משתמשים במראות **כדוריות** בעלות מיפתח קטן, יחסית.



ציור 64: אנטנת "צלחת"

סיימת לעבוד על פרק 2. ענה על שאלות החזרה שלפניך ובדוק אם היעדים הרשומים בתחילת הפרק אכן הושגו.

1. כיצד מייצרים מראות כדוריות?

_____

2. באיזה מצב מקבלים דמות מדומה במראה קעורה, מהן תכונות הדמות הזו?

_____

3. איזו דמות מקבלים במראה קמורה? באיזה מצב ימצא העצם? מהן תכונות הדמות?

_____

_____

_____

4. מהם השימושים של מראה קמורה?

_____

_____

_____

5. כיצד חוזרות קרניים המקבילות לציר המראה הכדורית (קעורה וקמורה) וכיצד חוזרות קרניים שמקורן במוקד?

_____

_____

_____

_____

6. הסבר בעזרת התשובה לשאלה 4 את פעולת תנור השמש ואת פעולת הזרקור.

_____

_____

_____

7. היכן ימצא חוט הלהט של נורה המיועדת להאיר שטח נרחב? הסבר על ידי סרטוט.

_____

_____

_____

_____

8. באיזה מצב תיווצר במראה קעורה דמות השווה לעצם? צייר את הסרטוט המתאים למצב זה.

_____

_____

_____

9. מהי ההגדלה במראה כדורית? רשום את הנוסחה.

_____

_____

10. מהי הנוסחה המקשרת בין רוחק העצם מהמראה הקעורה ורוחק הדמות ממנה?

_____

11. מהו היתרון של מראה קעורה פרבולית על מראה קעורה כדורית?

_____

_____

החומר ידוע היטב? פנה למורה להפניה לדפי חזרה על הפרקים 1, 2 לקראת מבחן.

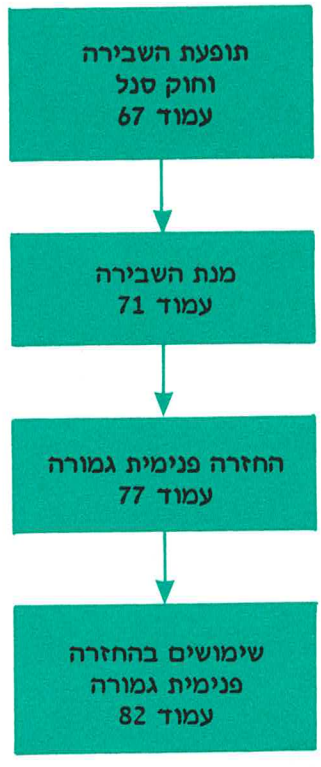
ב ה צ ל ח ה !

פרק 3

שבירת האור, חוק השבירה

פרק 3 - שבירת האור, חוק השבירה

תרשים מהלך נושא הלימוד



בסיום פרק זה אתה אמור:

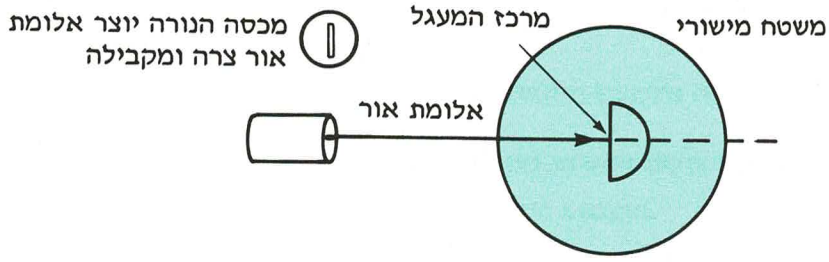
1. לדעת מהי שבירת אור,
2. לדעת מהו חוק השבירה,
3. לדעת מהי מנת שבירה,
4. להבין כיצד נוצרות דמויות אחרי שבירת אור במשטח ישר,
5. להבין מהי החזרה פנימית גמורה,
6. להבין כיצד פועלים סיבים אופטיים.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלה אמנם הושגו

3.א תופעת השבירה וחוק סנל

או"ג 11

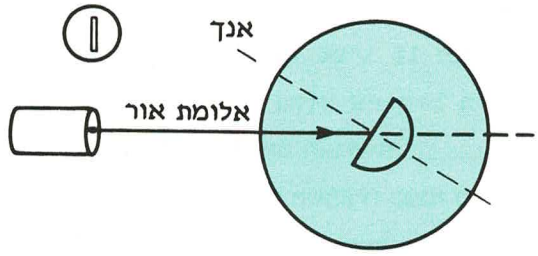
1. הנח לוח פרספקס שקוף בצורת חצי עיגול על נייר לבן. כוון אלומת אור צרה ומקבילה אל מרכז המעגל כך שהיא תיראה על הנייר, לפי ציור 65.
האם אלומת האור משנה כיוון בשעה שהיא נכנסת מן האוויר למשטח המישורי של הפרספקס? _____ (כן/לא). שים לב, שבמקרה זה אלומת האור פוגעת בלוח _____ (במקביל/במאונך) לפני המשטח. כאשר אלומת האור מאונכת לפני המשטח היא ממשיכה בתוך הפרספקס _____ (עם/בלי) שינוי כיוון.



ציור 65: אלומת אור פוגעת בחצי העיגול במרכזו במאונך למשטח.

מסקנה: אלומת אור הפוגעת בניצב למשטח של חומר שקוף חודרת בקו ישר ללא שבירה.

סובב את הלוח סביב מרכזו, כמתואר בציור 66:



ציור 66: אלומת אור פוגעת בזווית למשטח המישורי של חצי העיגול.

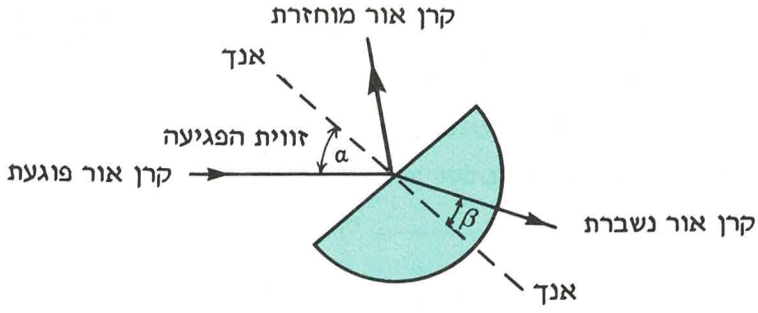
האם גם כעת ממשיכה אלומת האור בכיוון המקורי שלה, אחרי שנכנסה ללוח? _____ (כן/לא).

מסקנה: כאשר אלומת אור נכנסת מהאוויר בזווית למשטח מישורי של חומר שקוף היא _____ (משנה כיוון/ממשיכה באותו כיוון).

2. התבונן בציור שלפניך (ציור 67) והשווה אותו לציור 66. רשום את קרני האור הנוספות שאתה רואה:

1. _____

2. _____



ציור 67: מונחים בשבירת האור

שתי הקרניים שרשמת מעידות על שתי תופעות שמתרחשות כאשר קרן אור עוברת מאוויר לזכוכית.

א. קיימת שבירה, כלומר סטיית הקרן מכיוונה המקורי.

ב. קיימת החזרה לפי חוקי ההחזרה שלמדנו.

הזווית, שבין הקרן הפוגעת, לבין האנך למשטח המישורי בנקודת הפגיעה נקראת בשם: **זווית הפגיעה** (זווית α בציור 67). הזווית, שבין הקרן הנשברת (הקרן שעוברת אל **תוך** הפרספקס) לבין המשכו של האנך בתוך החומר, נקראת בשם: **זווית השבירה** (זווית β בציור 67).

3. "שבירת האור" היא איפוא תופעה של _____ (שמירת/שינוי) הכיוון של קרני האור, בשעה שהן חודרות מחומר אחד לחומר אחר.

חזור לניסוי או"ג 11 וסמן ב-α את זווית הפגיעה וב-β את זווית השבירה. מדוד את גודל הזוויות בעזרת מד זווית. האם זווית השבירה שווה לזווית הפגיעה? _____ (כן/לא).

האם זווית השבירה קטנה מזווית הפגיעה או גדולה ממנה?

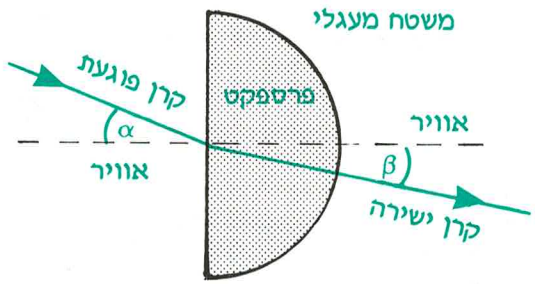
תשובה: זווית השבירה _____ (גדולה מ/קטנה מ/שווה ל) זווית הפגיעה.

מסקנה: כאשר קרן אור נכנסת בזווית (לא לאורך האנך) מאוויר לתוך חומר שקוף היא נשברת _____ (ומתקרבת לאנך/ומתרחקת מהאנך).

4. נשים לב למהלך קרן האור בתוך הפרספקס.

הקרן שנשברה במשטח המישורי של הפרספקס ממשיכה לנוע בקו _____ (ישר/עקום) בתוך חצי העיגול. היא מגיעה למשטח מעגלי המפריד בין הפרספקס והאוויר. הקרן נעה לאורך _____

(היקף/רדיוס) המעגל ולכן היא פוגעת **במאונך** למשטח הקטן שבו היא פוגעת. אי לכך היא יוצאת לאוויר _____ (עם/בלי) שינוי כיוון. במצב כזה היא פוגעת בזווית **אפס**. כאשר קרן אור פוגעת במשטח במאונך למשטח, כלומר בזווית פגיעה _____ (180°/0°) היא ממשיכה בזווית "שבירה" 0° (ציור 68).

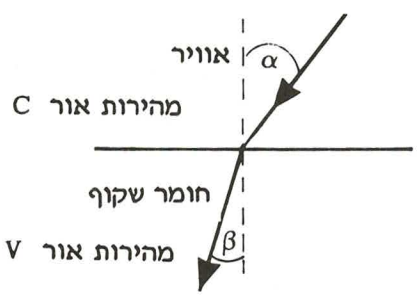


ציור 68: מהלך קרן האור בחתך הפרספקט

5. חוק סנל

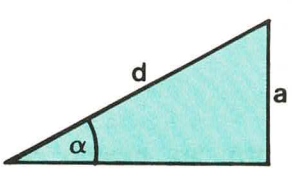
המתמטיקאי והאסטרונום ההולנדי סנל ון רוין, שחי בין השנים 1580-1626 חקר את תופעת שבירת האור. הוא מצא שיש קשר בין **הסינוס*** של זווית הפגיעה באוויר לבין **הסינוס** של זווית השבירה בחומר שקוף. הוא מצא שהמנה, המתקבלת כתוצאה מחילוק הסינוס של זווית הפגיעה ($\sin\alpha$) בסינוס של זווית השבירה ($\sin\beta$), שווה לגודל **קבוע**. יחס זה שווה בדיוק ליחס שבין מהירות האור באוויר, לבין מהירות האור בחומר, שבו נשבר האור.

חוק השבירה - חוק סנל - נכתב בעזרת הסימנים האלה: את מהירות האור באוויר נסמן באות c ואת מהירות האור בחומר השקוף נסמן באות v** (מהירות זו תמיד קטנה מאשר מהירות האור באוויר).



ציור 69: היחס שבין סינוס זווית הפגיעה באוויר לסינוס זווית השבירה בתווך, הוא היחס שבין מהירויות האור

* **סינוס של זווית:** נתייחס לזווית α כאשר היא מצוירת כזווית חדה במשולש ישר זווית. היחס בין הניצב שממול לזווית a ליתר d הוא סינוס הזווית: $\sin\alpha = \frac{a}{d}$.



** **הערה:** האות c משמשת, בדרך כלל, לציון מהירות התפשטות האור בחלל הריק (בוואקום). אולם מהירות האור באוויר קרובה מאוד למהירותו בריק, לכן נניח שהן שוות.

החוק הוא: $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c}{v}$

$\frac{c}{v}$ הוא מספר קבוע עבור הפרספקס. מספר זה עשוי להשתנות מחומר לחומר, לפי מהירות התפשטות האור בתוך החומר כשהאור חודר אליו מן האוויר.

או"ג 12

6. כדי לבדוק קשר זה, עלינו לחזור על הניסוי הקודם.
סובב את לוח הפרספקס בהתאם לזוויות הפגיעה α הרשומות בטבלה.
מדוד בכל מקרה את זווית השבירה β ורשום אותה. ערוך את החישובים הדרושים והשלם את הטבלה.*

מדידה מס'	זווית הפגיעה α	זווית השבירה β	$\sin\alpha$	$\sin\beta$	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$
1	15°	1	2	3	4
2	30°	5	6	7	8
3	45°	9	10	11	12
4	60°	13	14	15	16
5	75°	17	18	19	20
				ממוצע:	21

אם קיבלת בטור השמאלי בטבלה מספרים קרובים זה לזה, הראית את נכונות **חוק השבירה – חוק סנל.**
שים לב! למרות שזוויות הפגיעה וזוויות השבירה שונות מאוד ממדידה למדידה. קיבלת מספרים קרובים בעמודה השמאלית.

---

* היעזר במחשבון כדי למצוא את סינוס הזווית (sin):
הפעל את המחשבון. הכנס לתוכו את מספר המעלות של הזווית המתאימה. לחץ על sin. בצג מופיע סינוס הזווית הדרוש, רשום אותו בטבלה.

3.ב מנת השבירה

1. ראינו שכאשר אור מגיע מאוויר לחומר שקוף קיים היחס:

א. $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v}{c}$ ב. $\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{c}{v}$ ג. $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c}{v}$ ד. $\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{v}{c}$

כאשר: α זווית הפגיעה באוויר ו-β זווית השבירה בחומר.

סמן במעגל את השוויון הנכון.

c מהירות האור _____ (בחומר/באוויר) ו-v מהירות האור _____ (בחומר/באוויר).

היחס $\frac{c}{v}$ נקרא בשם **מנת השבירה** של החומר השקוף.

נסמן יחס זה באות n, ונקבל:

$$n = \frac{c}{v}$$

c הוא מספר קבוע. לכן n תלוי אך ורק במהירות האור בתוך החומר עצמו (v).

2. לפניך טבלה של מנות השבירה של חומרים שקופים שונים:

טבלה 1: מנות שבירה של חומרים שקופים

החומר	מנת השבירה
קרח	1.31
מים	1.33
טרפנטין	1.47
קוורץ	1.54
זכוכית רגילה	1.50
זכוכית קראון	1.57
זכוכית פלינט	1.80
פרספקס	1.50
יהלום	2.42

למען הדיוק עלינו לומר, כי מנת השבירה, מראה פי כמה גדולה מהירות האור בריק ממהירות האור בחומר. מהירות האור באוויר שווה כמעט למהירות האור בריק. לכן מנת השבירה גם תראה פי כמה גדולה מהירות האור _____ (באוויר/בחומר) ממהירות האור _____ (באוויר/בחומר).

3. הסתכל בטבלה בניסוי או"ג 12. השווה את מה שרשמת בעמודה השמאלית עבור מנת השבירה של פרספקס עם הרשום בטבלה 1. האם קיבלת תמיד תוצאה זהה? _____ (כן/לא). הערך הטוב ביותר (הממוצע) שקיבלת כמנת השבירה של הפרספקס הוא _____.

השיטה בה עבדת בניסוי או"ג 12 היא אחת הדרכים למדוד את מנת השבירה של חומרים שקופים.

4. א. מהירות האור בריק (בוואקום) היא 300,000 ק"מ בשנייה. מהירות האור ביהלום היא כ-124,000 ק"מ בשנייה.

מהי מנת השבירה של היהלום? _____

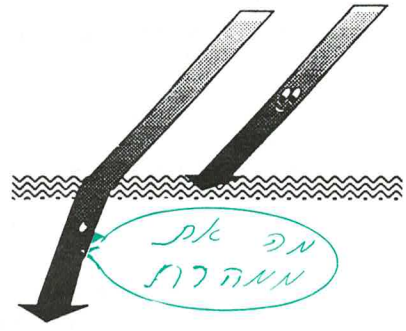
האם מנת השבירה שקיבלת דומה למספר המופיע בטבלה? _____ (כן/לא).

ב. נחשב את מהירות האור במים:

$$n = \frac{c}{v}$$

$$1.33 = \frac{300,000}{v}$$

$$v = \frac{\text{ק"מ}}{\text{שנייה}} = \text{_____}$$



ג. מנת השבירה של זכוכית רגילה היא _____.

מנת השבירה של זכוכית פלינט היא _____.

באיזה סוג של זכוכית גדולה יותר מהירות האור? פי כמה?

_____

_____

ד. קרן אור עוברת מהאוויר דרך מים המתקררים והופכים לקרח. זווית הפגיעה של קרן האור במים היא 60°. מהי זווית השבירה?

$$\frac{\sin 60°}{\sin \beta} = 1.33$$

$$\beta = \text{_____}$$

כאשר המים הופכים לקרח, קרן האור הנשברת _____

(תתקרב יותר ל/תתרחק יותר מה/לא תשתנה ביחס) לאנך. הסבר!

_____

5. קרן אור נכנסת מאוויר לזכוכית רגילה. זווית הפגיעה היא 60°. מהי זווית השבירה?

על פי הנתון, זווית הפגיעה היא $\alpha = 60°$. מנת השבירה עבור זכוכית רגילה, היא $n = 1.5$. בהצבה בחוק סנל נקבל:

.5

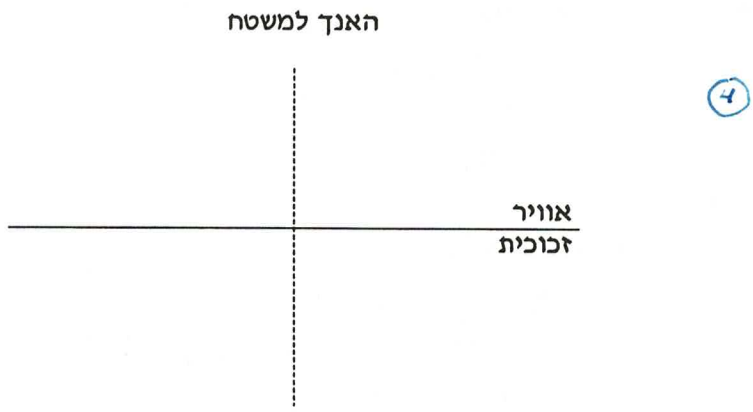
$$\frac{\sin 60^\circ}{\sin \beta} = 1.5$$

לכן $\sin \beta = \frac{\quad}{1.5}$ (2)

ומכאן נמצא ש - $\beta =$ (3)

מלא את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 5 כדי להשוות את פתרונך עם הפתרון הנכון.

צייר כאן את המצב המתואר בתרגיל האחרון: הקרן פוגעת במשטח בזווית α ונשברת בזווית β. צייר את קרן האור כשהיא מגיעה משמאל לאנך.



(4)

ציור 70: שבירת קרן אור בכניסה מאוויר לזכוכית.

לאחר שציירת פנה למורה לקבלת שקף הבקרה.

ש. או"ג 5

.6 חוק סנל בחומרים שונים

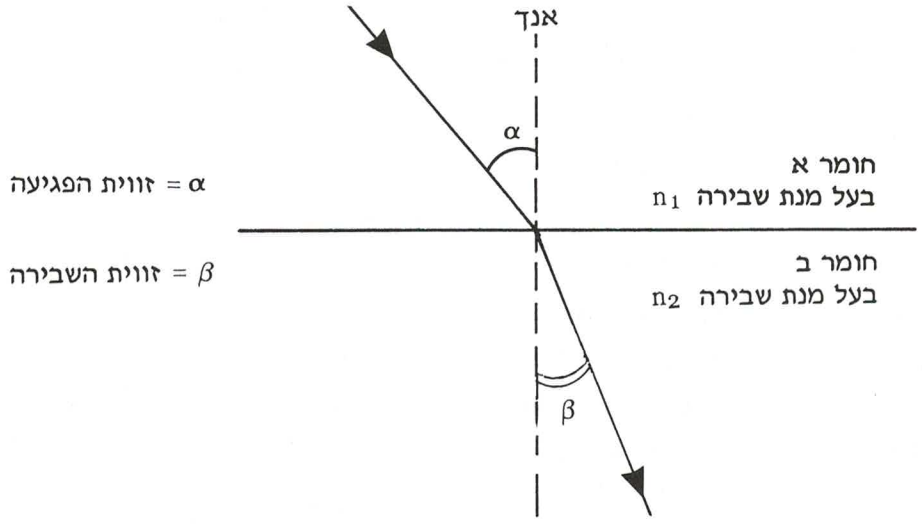
כאשר קרן אור עוברת מחומר שקוף אחד לאחר יכתב חוק סנל בצורה:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

נוהגים לכנות את החומרים השקופים שבהם נע האור בשם **תווכים**. n_1 ו-n_2 הם מנות _____ (1) (ההחזרה/השבירה) של התווכים 1 ו-2.

הערה: הזוויות α_1 ו-α_2 יכולות להיות זוויות פגיעה או שבירה. את חוק סנל נוכל לכתוב גם כך: $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$

חוק זה אומר שקיים יחס **הפוך** בין מקדמי השבירה וסינוסי הזווית. מכאן לומדים שככל שמקדם השבירה יגדל, כך תקטן הזווית שבה תנוע קרן האור מקו ההפרדה בין החומרים.



ציור 71: שבירה במשטח בין שני חומרים

7. כאשר אור עובר מתווך שקוף 1 לתווך שקוף אחר 2, התווך בעל מקדם השבירה הגדול יותר מביניהם יקרא **צפוף יותר**.

כאשר קרן עוברת מתווך 1 לתווך צפוף יותר 2, הקרן תישבר כך שהיא ① _____ (תתקרב ל/תתרחק מה) אנך.

כאשר קרן אור עוברת מתווך 1 לתווך 2 הצפוף פחות (קלוש) היא ② _____ (תתקרב ל/תתרחק מה) אנך.

במלים אחרות: אם האור עובר מחומר אחד לחומר אחר, צפוף ממנו, תהיה זווית השבירה ③ _____ (קטנה/גדולה) מזווית הפגיעה, ואם האור עובר מתווך צפוף לתווך קלוש ממנו, תהיה זווית השבירה ④ _____ (קטנה/גדולה) מזווית הפגיעה.

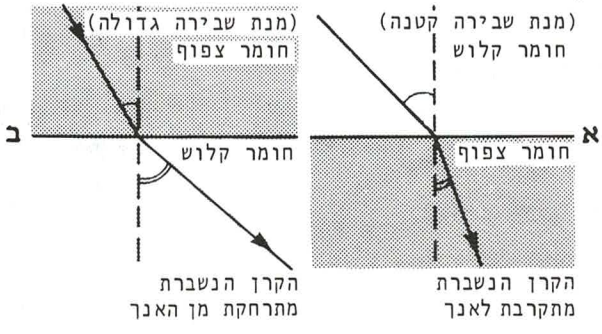
התבונן בטבלה 1 בסעיף 2.ב.3

דוגמה למקרה הראשון (ציור 72א') היא כניסתו של אור מאוויר לפרספקס, מטרפנטין ל ⑤ _____ (קוורץ/מים).

מזכוכית רגילה ל ⑥ _____ (קרח/קוורץ).

דוגמה למקרה השני (ציור 72ב') היא יציאת אור מזכוכית לאוויר או מיהלום ⑦ _____ (לכל/לחלק) מהחומרים הרשומים בטבלה.

בשעה שקרן אור יוצאת ממים לטרפנטין, האם היא מתרחקת מן האנך או מתקרבת אליו? ⑧ _____ (מתרחקת מן האנך/מתקרבת אל האנך).



ציור 72: שבירת אור

8. השלם את המשפטים שלפניך:

1. שבירת אור מתרחשת כשאור עובר _____ (1)
(באותו תווך/מתווך אחד לתווך אחר).

2. קרן נשברת מתקרבת לאנך, כשהיא באה מתווך _____ (2)
(צפוף/קלוש) לתווך _____ (3) (צפוף/קלוש) יותר.

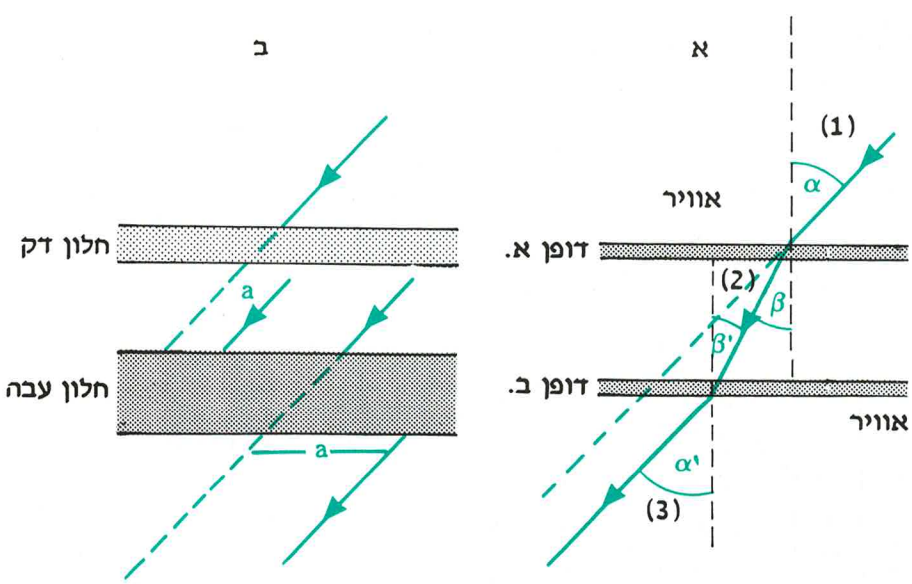
3. קרן נשברת מתרחקת מהאנך, כשהיא באה מתווך בעל מנת שבירה
_____ (4) (גדולה/קטנה) לתווך בעל מנת שבירה
_____ (5) (גדולה/קטנה) יותר.

4. מנת שבירה של חומר כלשהו הוא היחס בין _____ (6)
(צפיפות ה/מהירות האור ב) אוויר למהירות האור בחומר.

9. נתאר מהלך קרן אור דרך חלון. לחלון מנת שבירה גדולה יותר מאשר לסביבת החלון (אוויר, מים וכו').

קרן האור פוגעת בדופן א' של החלון בזווית פגיעה α (ציור 73א').
הקרן נשברת בזווית β _____ (1) (קטנה/גדולה) יותר מ-α. כלומר, היא
_____ (2) (מתקרבת אל/מתרחקת מה) אנך. הקרן ממשיכה לנוע עד דופן ב. נצייר אנך בנקודת הפגיעה. זווית הפגיעה β' בזכוכית שבדופן ב' שווה לזווית β (זוויות מתחלפות). לכן הקרן תצא לאוויר מדופן ב' בזווית α' _____ (3) (השווה ל/השונה מ) α (לפי חוק סנל).
לכן קרן (3) _____ (4) (מקבילה/מאונכת) לקרן (1). מכאן שקרן אור הפוגעת בחלון ממשיכה לנוע מעבר לחלון באותו כיוון, אך בסטייה a.
ככל שהחלון דק יותר קרן האור 2 נעה מרחק _____ (5) (גדול/קטן) יותר. הסטייה a אף היא קטנה.

מסקנה: בחלון דק קיימת סטייה קטנה a בהזזת קרן האור הפוגעת בה.



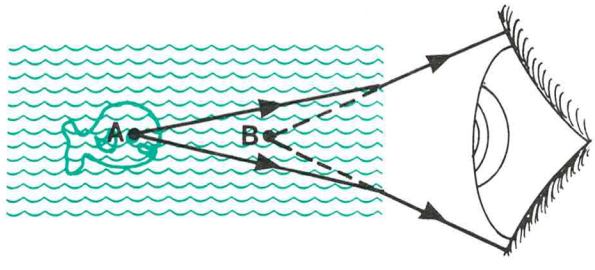
ציור 73: קרן אור העוברת דרך חלון ממשיכה לנוע מעבר לחלון באותו כיוון של הפגיעה בחלון, אך בסטייה a

10. הילד והדג

בסעיפים הקודמים ראינו שכאשר אלומת אור פוגעת במשטח המפריד בין שני תווכים שונים, חלק מהאור חוזר וחלק ממנו נשבר. בנוסף לכך למדנו, שכאשר אלומת אור עוברת מחומר נתון לחומר בעל מנת שבירה גדולה משל החומר הנתון, אלומת האור הנשברת _____ (מתקרבת לאנך/מתרחקת מן האנך). **תופעה הפוכה** מתרחשת כאשר האור עובר מחומר בעל מנת שבירה גדולה לחומר בעל מנת שבירה קטנה יותר. במקרה כזה אלומת האור _____ (מתקרבת לאנך/מתרחקת מן האנך).

האם הדגים באקוריון נראים בדיוק כמו מחוץ לו? האם הדג באמת נמצא במקום שבו הנך רואה את האקוריון? קרני האור היוצאות מנקודת הדג A ויוצאות מן המים לאוויר _____ (ממשיכות באותו כיוון/נשברות). ביציאה לאוויר הקרניים _____ (מתקרבות אל/מתרחקות מן) האנך. הסיבה לכך היא, שהאור יוצא **מהמים לאוויר**.

כאשר עינו של האדם קולטת את קרני האור שחזרו מן הדג, האם היא רואה את הקרניים בכיוון **המקורי** שבו הן נעו? _____ (כן/לא). הסיבה: העין קולטת את הקרניים אחרי **שבירה** (שינוי כיוון) בדופן האקוריון. בגלל התרחקות הקרניים מן האנך (כל קרן ביחס לאנך המתאים לה), נדמה לעין, שמקור הקרניים הוא בנקודה _____ (B/A). במלים אחרות: הדג נראה _____ (קרוב יותר/רחוק יותר/ללא שינוי) ממרחקו האמיתי.



ציור 74: עין הצופה קולטת קרניים שנראות כאילו הן באות אליו מן הנקודה B

נסכם:

א. מנת השבירה n של תווך הוא היחס בין מהירות האור באוויר c ובין מהירות האור באותו תווך v.

$$n = \frac{c}{v}$$

ב. במעבר אור מחומר שקוף בעל מנת שבירה n_1 לתווך שקוף בעל מנת שבירה n_2 מתקיים חוק סנל:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

α_1 ו-α_2 הן זוויות הפגיעה והשבירה.

ג. כאשר קרן אור עוברת מחומר בעל מנת שבירה נתונה לחומר בעל מנת שבירה גדולה יותר היא מתקרבת לאנך.

3.ג החזרה פנימית גמורה

1. נבדוק מה קורה כאשר האור עובר מתווך בעל מנת שבירה **גדולה** מזו של החומר שבו נשבר האור. הדוגמות השכיחות ביותר למצב זה הן כניסה של אור ממים ① _____ (לאוויר/לזכוכית) או מזכוכית ② _____ (לאוויר/ליהלום).

כל קרן אור, הנעה מחומר בעל מנת שבירה גדולה יותר מאשר זו של החומר שבו היא נשברת ③ _____ (מתקרבת לאנך/מתרחקת מן האנך).

עד איזו זווית היא יכולה להתרחק מהאנך?

בעזרת הניסוי שלפנינו נענה על השאלה ונראה כיצד מתנהג האור במצב בו אנו דנים.

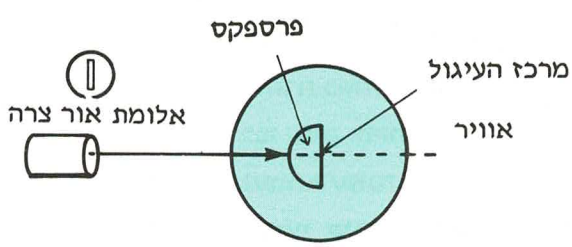
2. הצב על נייר לבן את לוח הפרספקס בצורת חצי עיגול שבו השתמשת כבר בניסויים או"ג 11 ו-12.

הצב אותו כך שצדו **העגול** יהיה מכוון אל אלומת האור הצרה שתקרין מהנורה (ציור 75א'), (דאג לכך שהאור יראה על הנייר).

כוון את לוח הפרספקס כך שקרן האור תצא **ללא סטייה** מכיוונה הראשוני.

במצב כזה קרן האור נעה דרך הרדיוס אל ④ _____ (קצה/מרכז) חצי העיגול. הרדיוס מאונך למשטח הקטן בו פוגעת קרן האור ולכן אין שבירה.

משם יוצאת קרן האור ④ _____ (במקביל/במאונך) למשטח המישורי המפריד בין הפרספקס לאוויר. במעבר זה ⑤ _____ (אין/יש) שבירה של אור.



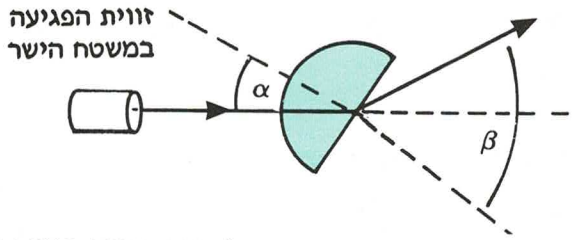
ציור 75א': מעבר קרן אור מפרספקס לאוויר במאונך למשטח המפריד

3. סובב את הלוח סביב מרכזו, כמתואר בציור 75ב':

הקרן ממשיכה להיות מכוונת אל מרכז הלוח העגול. גם כאן נכנסת הקרן ללוח לאורך רדיוס, שהוא האנך, בנקודת הפגיעה.

ג.3

.3



ציור 75ב': מעבר קרן אור מפרספקס לאוויר בזווית פגיעה נתונה

זכור!
האנך למשטח עגול, בנקודה כלשהי עליו, הוא הקו המחבר את הנקודה עם מרכז העיגול (והמשכו של אותו קו).

האם קרן האור נשברת כשהיא נכנסת ללוח הפרספקס? _____ (1)
(כן/לא). גם כאן הקרן חודרת ללוח ללא שבירה, מפני שהיא פוגעת
בדיוק בכיוון _____ (2) (הרדיוס/המשיק) של המשטח העגול.
הקרן מגיעה לחלק הישר של לוח הפרספקס ועוברת כעת מתוך הפרספקס
לאוויר. ביציאה זו הקרן כבר _____ (4) (נמצאת/אינה נמצאת)
בכיוון האנך למשטח הישר. לכן כאשר היא יוצאת מהמשטח הישר היא
_____ (5) (נשברת/אינה נשברת). הקרן יוצאת מפרספקס בעל
מנת שבירה _____ (6) (גדולה/קטנה) מאשר של האוויר. לכן
הקרן היוצאת _____ (7) (מתקרבת/מתרחקת) מן האנך.

4. האם אתה מבחין באלומת אור חוזרת בתוך הפרספקס? _____ (1)
(כן/לא). כוון את אלומת האור הנכנסת כך, שבנקודת היציאה מן הלוח
תוכל לראות על הנייר הלבן שתי תופעות: גם אלומת אור, היוצאת אל
מחוץ ללוח וגם אלומת אור החוזרת לתוך הלוח.
העתק את צורתו של לוח הפרספקס על הנייר והעתק עליו את כיוון מהלך
הקרניים. הדבק את הציור שתקבל בשלמותו בעמוד זה מימין (ציור 76).
ציין על הציור (רצוי בצבע שונה) את האנך למשטח בנקודת הפגיעה של
הקרן **היוצאת**. ציין במלים על הציור: זווית פגיעה, זווית שבירה וזווית
החזרה כשהקרן **יוצאת מן הלוח לאוויר**.
לפי חוק ההחזרה על זווית ההחזרה להיות _____ (2)
(שווה ל/שונה מ) זווית הפגיעה.
בניסוי קיבלנו במשטח הישר זווית פגיעה של _____ (3) מעלות. זווית
ההחזרה שקיבלנו היא _____ (4) מעלות. לכן אפשר לסכם כי חוק
ההחזרה _____ (5) (מתקיים/אינו מתקיים) בניסוי שלנו.
לפי חוק השבירה, הקרן היוצאת מן הלוח לאוויר צריכה
_____ (6) (להתקרב לאנך/להתרחק מהאנך). האם הזוויות
שבציור מאשרות זאת? נבדוק: גודלה של זווית הפגיעה הוא _____ (7)
מעלות, גודלה של זווית השבירה הוא _____ (8) מעלות. דבר זה
_____ (9) (מאשר/אינו מאשר) את תהליך שבירת האור, כי זווית
השבירה _____ (10) (שווה ל/גדולה מ/קטנה מ) זווית הפגיעה.

או"ג 15

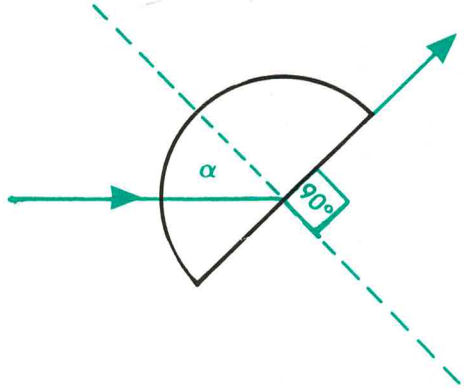
הדבק
את הציור
כאן

ציור 76:
ניסוי: קרן חוזרת
וקרן נשברת ביציאה
מחומר שקוף לאוויר

או"ג 16

5. הזווית הגבולית

סובב בהדרגה את לוח הפרספקס סביב מרכזו. אם תמשיך לסובב באותה מגמת סיבוב, תגיע למצב שבו אלומת האור היוצאת מן הלוח תנוע לאורך השפה הישרה של הפרספקס. זווית השבירה במצב כזה היא בת 90°. רשום את זווית הפגיעה המתאימה. זווית הפגיעה היא בת _____ (1) מעלות. הזווית הזאת נקראת בשם: **הזווית הגבולית**. יש לה עוד שמות: **זווית הגבול והזווית הקריטית**.



ציור 77: α זווית גבולית

המשך לסובב את הלוח ותראה שבזוויות **גדולות** מן הזווית הגבולית, אין שום קרן, שיוצאת מן הלוח וקיימת רק תופעת _____ (2) (שבירה/החזרה).

נסכם:

א. במצב שבו אור עובר מתווך בעל מנת שבירה גדולה מזו שאליו הוא מגיע, נקבל זווית גבולית כאשר זווית השבירה היא בת 90°.

ב. כאשר זווית הפגיעה גדולה מן הזווית הגבולית, לא תצא כל קרן אור מן הלוח החוצה. קיימת רק אלומה החוזרת פנימה אל תוך הלוח. מצב זה נקרא בשם: מצב של החזרה פנימית שלמה או החזרה פנימית גמורה.

6. ניעזר בתוצאות הניסוי או"ג 15 האם במצב של החזרה פנימית גמורה מתקיים גם חוק ההחזרה? ציין לפחות 3 זוויות פגיעה, שכולן גדולות מן הזווית הקריטית שרשמת בסעיף 5, ואת זוויות ההחזרה שמדדת.

	זווית פגיעה	זווית החזרה
1	(1)	(2)
2	(3)	(4)
3	(5)	(6)

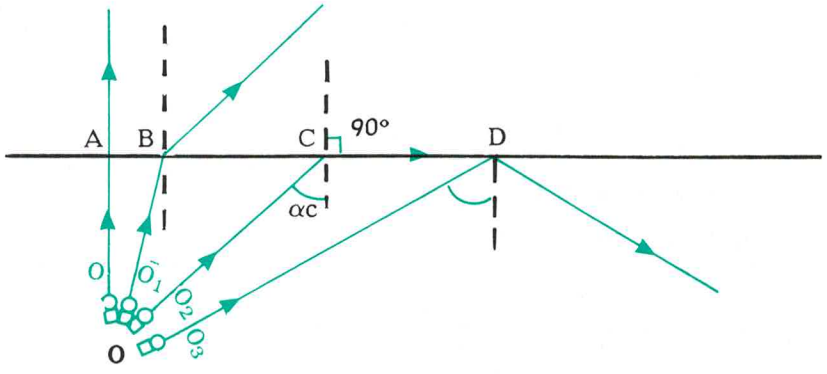
כלומר: חוק ההחזרה _____ (7) (ממשיך/אינו ממשיך) להתקיים.

7. בשל חשיבותה של תופעת "ההחזרה הפנימית הגמורה", נחזור על תכונותיה:

א. החזרה פנימית גמורה **לא תיתכן** כשאור עובר מחומר בעל מנת שבירה קטנה (קלוש) לחומר בעל מנת שבירה גדולה (צפוף).
במעבר כזה הקרן הנשברת _____ (מתקרבת לאנך/מתרחקת מן האנך). לכן היא יכולה תמיד לחדור לחומר הצפוף. בכל זווית פגיעה אפשרית - מ-0° ועד 90°, תתקיים תופעת שבירה.

ב. החזרה פנימית גמורה יכולה להתרחש רק כאשר אור עובר מחומר צפוף לחומר קלוש ממנו.

8. אילו שיקענו פנס אטום במים והיינו שולחים אלומת אור צרה **החוצה אל האוויר**, היינו רואים את מהלך הקרניים הזה (ציור 78):



ציור 78: מהלך קרני אור במעבר ממים לאוויר

קרן O_1B פוגעת במשטח המפריד בין המים לאוויר בזווית _____ (קטנה/גדולה) מן הזווית הגבולית. לכן קרן זו _____ (יוצאת/אינה יוצאת) לאוויר.

קרן O_2C יוצאת לאוויר, כשזווית השבירה _____ היא (0°/90°) מן האנך. זווית הפגיעה המתאימה (α_c בציור 78) נקרא בשם: _____ (הזווית הגבולית/הזווית הפנימית).

קרן O_3D פוגעת במשטח המפריד בזווית _____ (גדולה/קטנה) מן הזווית α_c. לכן, קרן זו _____ (מסוגלת/איננה מסוגלת) לצאת מן המים ותהיה החזרה פנימית _____ (חלקית/ שלמה).

9. על ידי חוק סנל נוכל לקבל את הזווית הגבולית (α_c) של "החזרה פנימית גמורה" מחומר כלשהו לאוויר:

$$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$$

נציב בנוסחה שרשמנו:

$n_2 = 1$ מנת השבירה של האוויר

$\beta = 90°$ זווית השבירה באוויר

$n_1 = n$ מנת השבירה של החומר לגביו מחפשים את הזווית הגבולית

$\alpha = \alpha_c$ הזווית הגבולית

נקבל: $n_1 \sin\alpha_c = 1 \cdot \sin 90°$

אבל: $\sin 90° = 1$

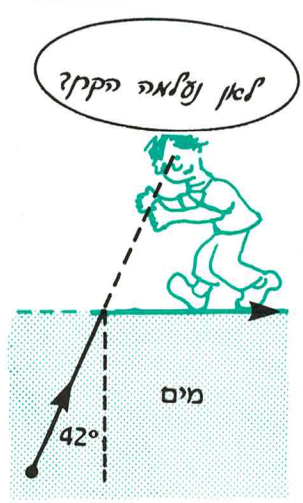
לכן נקבל: $n \sin\alpha_c = 1$

$$\boxed{\sin\alpha_c = \frac{1}{n}}$$

כיוון שכל חומר מאופיין במנת שבירה n משלו, תהיה לחומרים שונים זווית גבולית שונה. ככל שמנת השבירה של החומר גדולה יותר, כך הזווית הגבולית שלו _____ (גדולה/קטנה) יותר.

10. בטבלה שלפניך נתונות מנות שבירה של חומרים שונים. חשב את הזווית הגבולית בכל מקרה והשלם את הטבלה:

החומר	n	α_c
אוויר	1	
מים	1.33	
זכוכית רגילה	1.5	
יהלום	2.42	



מן הנתונים שבטבלה הזאת אנו רואים, שהזווית הגבולית של מים _____ (קטנה/גדולה) מהזווית הגבולית של זכוכית.

11. מבין החומרים הנזכרים בטבלה _____ (האוויר/המים/הזכוכית/היהלום) הוא בעל הזווית הגבולית הקטנה ביותר. לוטשי יהלומים מנצלים זאת ומלטשים את היהלום כך, שאור החודר פנימה עובר החזרות פנימיות רבות לפני שהוא יוצא החוצה. דבר זה מגדיל את ברק היהלום.

לפי הנוסחה האחרונה, הזווית הקריטית המתאימה למעבר אור מזכוכית רגילה (n = 1.5) לאוויר היא _____ (הזווית המתקבלת צריכה להיות פחות מ-45°).

3.ד שימושים בהחזרה פנימית גמורה

1. את תופעת ההחזרה הפנימית הגמורה, מנצלים במכשירים אופטיים שונים, כגון: טלסקופים, משקפות שדה, פריסקופים, מצלמות וסיבים אופטיים. במקרים רבים משתמשים במנסרה ישרת זווית במכשירים אופטיים שבהם יש צורך בהחזרת אור כמעט מושלמת. ציור 79 מראה כיצד פועלת מנסרה כזאת כמחזיר אור.

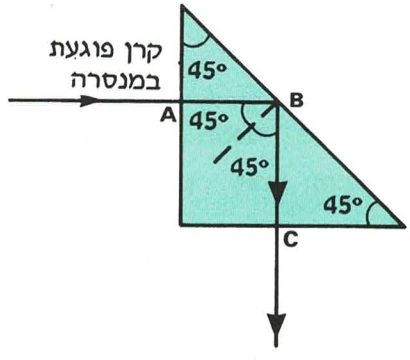
או"ג 17

2. העמד את מערך הניסוי המתואר בציור 79 על נייר לבן. השתמש בחתך של מנסרה ישרת זווית ושוות שוקיים, העשוייה מפרספקס שקוף. הקרן פוגעת בדופן _____ (1) (הקצר/הארוך) של המנסרה. זווית הפגיעה בנקודה A היא בת _____ (2) (90°/0°). הקרן הזאת _____ (3) (נשברת/אינה נשברת) בשעה שהיא נכנסת אל תוך המנסרה. הקרן ממשיכה בתוך המנסרה עד לנקודה B. זווית הפגיעה במשטח היתר היא _____ (4) (90°/45°/0°). הזווית הזאת _____ (5) (גדולה/קטנה) מן הזווית הגבולית של יציאת אור מהפרספקס לאוויר. לכן הקרן _____ (6) (יוצאת/איננה יוצאת) מן הפרספקס, אלא חוזרת החזרה פנימית גמורה בכיוון הנקודה _____ (7) (C/B/A).
בנקודה C הקרן אינה נשברת, כי זווית הפגיעה היא _____ (8) (90°/0°).
נוהגים להשתמש במנסרות כאלה למשל בפריסקופ.
את הפריסקופ כבר היכרנו בסעיף 2.ב.11. ההבדל העיקרי בין הפריסקופ שתואר שם לבין הפריסקופ המתואר כאן מתבטא ב: (9)

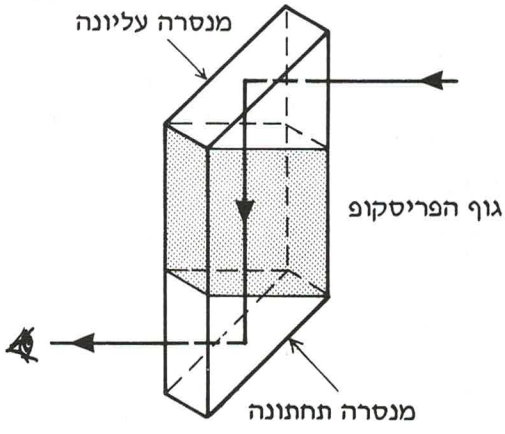
_____

_____

(שם התמונה ישרה וכאן הפוכה/שם גוף הפריסקופ ארוך יותר וכאן קצר יותר/שם ההחזרה נעשית במראות, וכאן במנסרות עם החזרה פנימית גמורה).

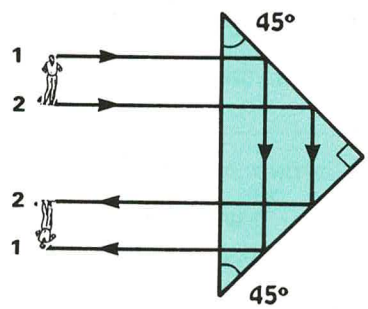


ציור 79: החזרה פנימית גמורה במנסרה ישרת זווית ושוות שוקיים



ציור 80: פריסקופ מנסרות

3. היתרון העיקרי של המנסרות על פני המראות מתבטא בעובדה, שהמנסרות מחזירות את האור בשלמותו ואין צורך בשכבת ציפוי (כסף או אלומיניום) כמו במראות. ההחזרה במנסרה מתבצעת בגלל תופעה של _____ (שבירה/החזרה פנימית גמורה), הגורמת להחזרה מלאה של האור. ואילו במראות רגילות הציפוי הוא הכרחי. בנוסף לכך שכבת הציפוי הזאת נוטה להתקלקל לעתים קרובות ויש לחדשה מדי פעם. במנסרות אפשר לקבל החזרה מלאה ואילו שכבת הציפוי שבמראות אינה מחזירה לעולם 100% של האור.

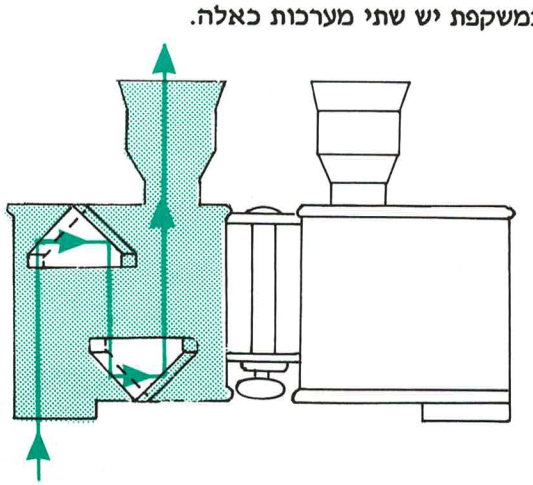


ציור 81: שימוש בהחזרה פנימית גמורה להיפוך דמות

4. ציור 81 מתאר שימוש שונה בהחזרה פנימית גמורה במנסרה ישרת זווית. השימוש הוא לצורך היפוך דמות. מהלך קרני האור מסביר כיצד משמשת המנסרה להיפוך הדמות. קרן 1 נכנסת למנסרה _____ (מעל/מתחת) קרן 2, אבל ביציאה, קרן 1 נמצאת _____ (מעל/מתחת) לקרן 2. את היפוך הדמות אפשר לקבל גם בעזרת שתי מראות רגילות (כפי שראית בסעיף 2.ב.10).

5. במשקפת שדה משתמשים בשילוב של שתי מנסרות ישרות זווית כאלה (ציור 82). מנסרה אחת הופכת את הדמות מעלה-מטה, והאחרת הופכת את הדמות שמאלה-ימינה. כתוצאה משני היפוכים אלה אנו רואים את הדמות ישרה כפי שהיא במציאות.

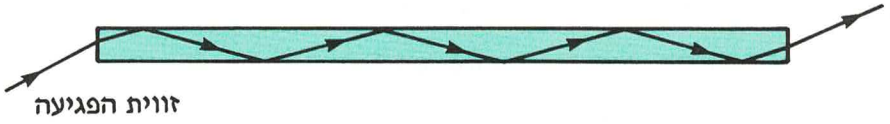
שים לב שבמשקפת יש שתי מערכות כאלה.



ציור 82: מנסרות של החזרה פנימית במשקפת שדה (משקפת מנסרות)

6. סיבים אופטיים

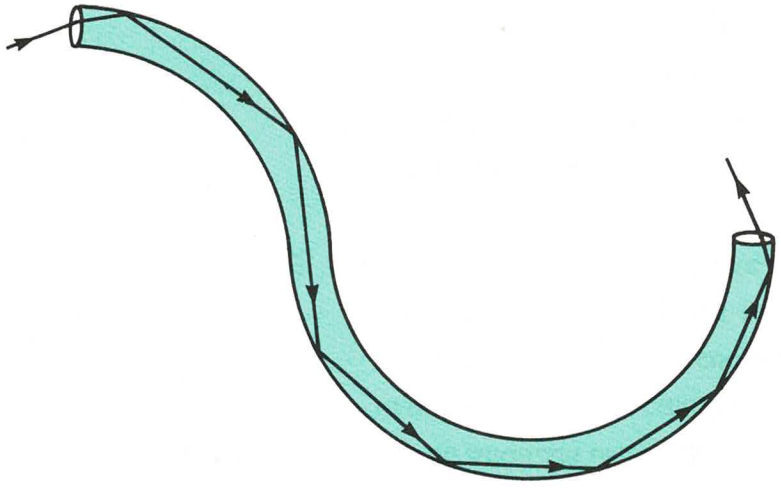
הסיב (חוט) האופטי עשוי זכוכית או חומר פלסטי (או זכוכית עטופה בחומר פלסטי). אפשר להכניס לתוכו אור דרך אחד מקצותיו, כמתואר בציור 83.



ציור 83: סיב אופטי

קרן האור, הפוגעת בדופן הסיב מבפנים, לא תצא כלל, כי זווית הפגיעה _____ (גדולה/קטנה) מן הזווית הגבולית של יציאת אור מזכוכית לאוויר. היא תוחזר אל הדופן הנגדי ותפגע בו. זווית הפגיעה תהיה שוב _____ (גדולה/קטנה) מהזווית הגבולית, וכן הלאה (ציור 83). כך ימשיך האור להתקדם בשלמותו בתוך הסיב. אם הסיב עשוי מחומר שקוף מאוד, הוא יכול להוליך את קרן האור למרחקים ארוכים מאוד.

אפילו כאשר הסיב האופטי אינו ישר, הוא ימשיך להוליך את האור עד קצה הסיב בלי שיצא אור החוצה, דרך הדפנות (ציור 84).



ציור 84א: האור ממשיך לנוע לאורך הסיב האופטי גם כשהוא מכופף

סיב אופטי הניתן לכיפוף הוא שימושי מאוד. אפשר להעביר באמצעותו אור גם למקומות שאי אפשר להכניס לתוכם מקור אור (פנס). על ידי סיבי אור עדינים אפשר להאיר אברים פנימיים בתוך גוף האדם. האור המוחזר מהאברים הפנימיים מאפשר לראותם בלי לנתח.

7. השלם את המשפטים שלפניך:

1. כשאנו עומדים ליד בריכת מים ומתבוננים בתחתית, רואים את הקרקעית _____ (רחוקה/קרובה) יותר מאשר מרחקה האמיתי.

2. כאשר מכניסים כפית לכוס מים, רואים את הכפית "שבורה". הסיבה לכך היא שהחלק של הכפית שנמצא בתוך המים נראה לנו _____ (גבוה/נמוך/בלי שינוי) ממקומו האמיתי.

3. פריסקופ של נהג טנק בנוי ממנסרות שבהן מתקיימת _____ (שבירת אור/החזרה פנימית גמורה). הפריסקופ אינו עשוי ממראות רגילות כי _____ _____ (הוא קצר יותר/הוא עמיד במים/יש לחדש את הציפוי שלהם מידי פעם).

4. סיב אופטי הוא סיב _____ (חלול/מלא). האור פוגע בדופן הסיב, בזווית פגיעה _____ (גדולה מה/קטנה מה/שווה ל) זווית הגבולית של החומר שהסיב עשוי ממנו.

נסכם:

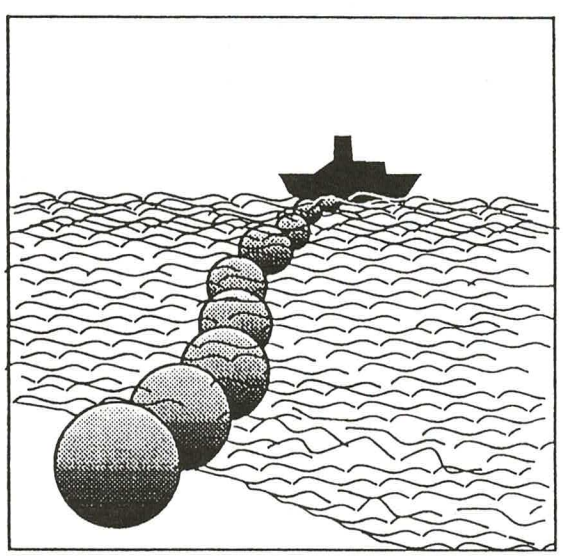
בפרק זה למדת:

א. מהו חוק סנל.

ב. מדוע דג באקווריון נראה יותר קרוב לדופן בהשוואה למקומו האמיתי.

ג. מהי החזרה פנימית גמורה.

ד. מהם השימושים בתופעה של ההחזרה הפנימית הגמורה (משקפת-מנסרות, סיבים אופטיים).



ציור 84ב: הנחת סיבים אופטיים במעמקי הים לצורך תקשורת

סיימת לעבוד על פרק 3, ענה על שאלות החזרה שלפניך. בדוק אם היעדים הרשומים בתחילת הפרק אכן הושגו.

1. הגדר את המושגים זווית פגיעה וזווית שבירה.

_____

_____

2. הסבר מדוע משתמשים בחומר שקוף שצורתו חצי עיגול להוכחת חוק סנל. הסבר את מהלך קרן האור.

3. מהי מנת שבירה?

4. נסח את חוק סנל במעבר אור מתווך אחד לתווך שני שביניהם יש משטח מפריד משותף.

5. מדוע נראה עצם בתוך מים קרוב יותר לשפה? סרטט והסבר.

6. מהי הזווית הגבולית ובאיזה תנאי היא מתקבלת?

7. הסבר את תופעת ההחזרה הפנימית הגמורה.

8. כיצד מוצאים את הזווית הגבולית של חומר בעל מנת שבירה נתונה?

9. תאר שני שימושים טכנולוגיים בהחזרה פנימית גמורה.

החומר ידוע היטב? פנה למורה להפניה לדפי חזרה על פרק 3 לקראת מבחן.

בהצלחה!!

פרק 4

עדשות

פרק 4 - עדשות

תרשים מהלך נושא הלימוד

בסוף פרק זה אתה אמור:

1. לזהות עדשות מרכזות ועדשות מפזרות.
2. להבין כיצד שוברות העדשות קרני אור ויוצרות דמויות.
3. למצוא את מקומה של הדמות ואת גודלה.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלה אמנם הושגו

4.א עדשות מרכזות ועדשות מפזרות

1. האם התבוננת מעודך בזכוכית מגדלת?

האם שרפת אי פעם נייר באמצעות ריכוז אור השמש בעזרת עדשה?

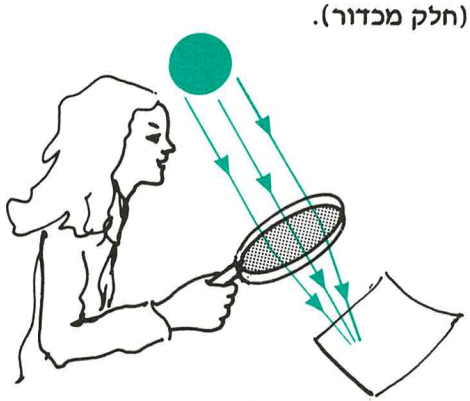
אם עדיין לא עשית זאת, תהיה לך הזדמנות לעשות זאת בהמשך פרק זה.

לעדשות יש שימושים רבים. אנו רואים את העולם סביבנו הודות לעיניים שלנו, שלהן צורת עדשה. אנו מתקנים ליקויי ראייה בעזרת עדשות המשקפיים. מכשירים אופטיים רבים מכילים עדשות, כגון מקרן שקופיות, מקרנת קולנוע, מיקרוסקופ, מצלמה ועוד.

השימוש הרב בעדשות נובע מהאופן שבו נשבר האור כשהוא עובר דרכן.

על שבירת האור בעדשות ידובר בפרק זה.

העדשות עליהן נדבר בפרק זה, הן גופים שקופים, עשויים זכוכית או חומר פלסטי שקוף אחר. לעדשות שני משטחים שוברי אור. אלה הם לרוב משטחים כדוריים (חלק מכדור).



ציור 85: ריכוז קרני שמש (מקבילות) על ידי עדשה מרכזת

נסכם:

העדשות המקובלות ביותר הן עדשות מזכוכית או מחומר פלסטי שקוף, המלוטשות ליטוש כדורי משני צדיהן.

לצרכים מיוחדים יש עדשות מחומרים _____ (שקופים/אטומים) אחרים שלהן צורות אחרות של משטחים שוברי אור.

2. עדשה רגילה מורכבת משני משטחים _____ (כדוריים/מישוריים). כל משטח שובר את קרני האור הפוגעות בו. כאשר קרן אור עוברת דרך העדשה, היא _____ (נשברת/לא נשברת) _____ (פעם אחת/פעמיים) עד שהיא יוצאת מן העדשה.

3. אפשר למיין את העדשות לשני סוגים: לסוג האחד שייכות עדשות, **המרכזות** קרני אור מקבילות הפוגעות בהן. לסוג האחר שייכות עדשות, **המפזרות** קרני אור מקבילות הפוגעות בהן.

שני סוגי עדשות אלה מתוארים בציור 86 (שים לב! הציור מתאר חתכים של העדשות).

עדשה מרכזת
מרכז העדשה - עבה
שוליים דקים

עדשה מפזרת
מרכז העדשה - דק
שוליים עבים

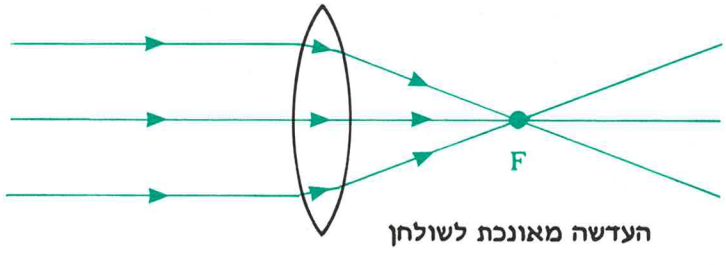
ציור 86: שני סוגי עדשות, מרכזת ומפזרת

בכל העדשות המרכזות, מרכז העדשה עבה משוליה. בכל העדשות המפזרות ההיפך הוא הנכון, כלומר: מרכז העדשה _____ (עבה/דק) מהשוליים שלה.

4. שבירת קרני אור בעדשה מרכזת

ראינו כי קרן אור העוברת דרך עדשה נשברת פעמיים. פעם אחת כשהקרן נכנסת מה (1) _____ (אוויר/עדשה) ל (2) _____ (אוויר/עדשה), ופעם שנייה כשהיא יוצאת מה (3) _____ (אוויר/עדשה) ל _____ (אוויר/עדשה).

מציבים עדשה מרכזת בדיוק במאונך לשולחן ושולחים קרניים מקבילות לשולחן. אלומת הקרניים נשברת (4) _____ (פעם/פעמיים). לאחר השבירה (5) _____ (הראשונה/השנייה) הקרניים נפגשות בנקודה אחת (ציור 87). נקודה זו נקראת בשם **נקודת המוקד** של העדשה, והיא מסומנת באות F. משמעותה של נקודת המוקד היא: כאשר נשלח אלומת קרניים מקבילות אל העדשה המרכזת ונשים דף נייר (או חיץ אחר) במקום בו נמצאת הנקודה F, יתקבל על הדף כתם אור מרוכז.



ציור 87: שבירת קרני אור בעדשה מרכזת. מבט מהצד

5. קח עדשה מרכזת והחזק אותה במאונך לאור המגיע מהשמש (ציור 88). חפש בעזרת דף נייר את כתם האור. מצא את המקום בו כתם האור הוא המרוכז ביותר. במצב זה נמצא דף הנייר בנקודת המוקד של

או"ג 18

_____ (העדשה/השמש).

זהירות! אין לערוך ניסוי זה זמן ממושך!

ריכוז הקרניים יוצר נקודה מבריקה ומסנוורת מאוד. נקודה זו היא תמונה קטנה ומרכזת של השמש. מהו בערך המרחק בין נקודת המוקד לבין העדשה? מדוד אותו בעזרת סרגל ורשום את התוצאה: _____ ס"מ.

ציור 88: על דף הנייר מקבלים תמונה קטנה ומרוכזת של השמש

6. אם נרכז במשך זמן רב את קרני השמש על הנייר - הנייר עלול להשרף ואם הוא יהיה בקרבת חומר דליק - הוא אף עלול לגרום לשריפה.

זו **אחת** הסיבות, שבגללה אסור להשליך בקבוקים לשדה קוצים. לבקבוק יש משטחים עגולים, והוא יכול לשמש **כעדשה** המרכזת את קרני השמש לנקודת _____ (המוקד/המרכז). התוצאה עלולה להיות שריפה בשדה!

7. נחזור על ניסוי או"ג 18 בתנאי מעבדה. מערך הניסוי מתואר בציור 89.

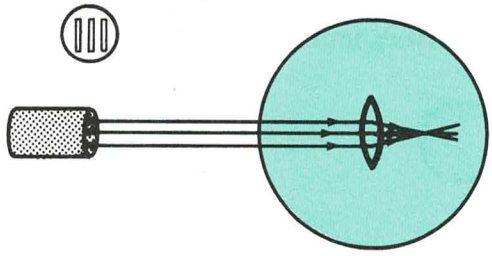
בציוד האופטי העומד לרשותך יש **חתכים** של עדשות שונות. מבין החתכים של העדשות האלה בחר בחתך המתאים לעדשה מרכזת.

העתק לכאן את צורת החתך של העדשה המרכזת שבחרת.

.7

הנח את חתך העדשה על דף נייר לבן והעבר דרכה אלומת קרניים מקבילות (ציור 89). את האלומה יש לכוון כך, שהיא תיראה על הנייר.

מכסה מנורה המעביר קרניים מקבילות



ציור 89: ניסוי בעדשה מרכזת

העתק את חתך העדשה ואת מהלך הקרניים (לפני השבירה בעדשה ולאחריה) אל דף הנייר.

הדבק כאן את הציור שקיבלת:

3

4

האם הקרניים מתרכזות? _____ (כן/לא). מהו המרחק שבין נקודת המוקד F לבין מרכז העדשה? המרחק הזה הוא _____ ס"מ.

5

למרחק זה נקרא בשם **רוחק המוקד f של העדשה.**

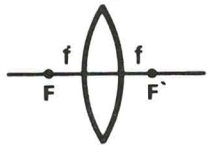
8. סובב את העדשה כך, שהקרניים תכנסנה דרך המשטח השני ותצאנה מהמשטח הראשון. מדוד עתה את רוחק המוקד. רוחק המוקד הוא:

1

_____ ס"מ = f.

2

מסקנה: כשמסובבים את העדשה רוחק המוקד _____ (משתנה/אינו משתנה).

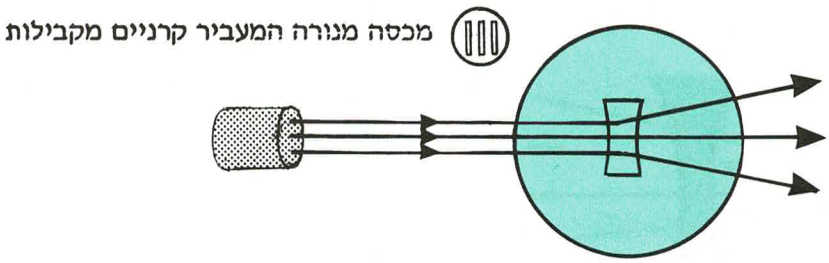


ציור 90: נקודות מוקד משני צדי העדשה. רוחק המוקדים שווה

9. שבירת קרני אור בעדשה מפזרת

איך תיראה שבירת קרני אור מקבילות בעדשה מפזרת?

כדי לענות על שאלה זו נבצע ניסוי זהה לאו"ג 19. אלא הפעם עם חתך של עדשה מפזרת (ניסוי או"ג 20).



ציור 91: ניסוי בעדשה מפזרת

מבין החתכים של העדשות שברשותך, בחר בחתך המתאים לעדשה מפזרת, העתק לכאן את צורת החתך שבחרת.

1

ציור 92: חתך של עדשה מפזרת

הנח את חתך העדשה על דף נייר לבן והעבר דרכה אלומת קרניים מקבילות (ציור 91).

העתק את חתך העדשה ואת מהלך הקרניים (לפני השבירה בעדשה ולאחריה) על דף הנייר.

הדבק כאן את הציור שקיבלת:

2

ציור 93: מהלך הקרניים המקבילות והמשכיהן בעדשה מפזרת

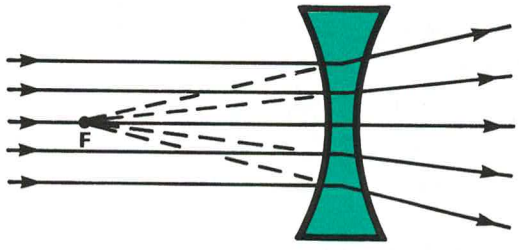
.9

האם הקרניים מתרכזות? _____ (כן/לא) 3

הנח סרגל על הציור לאורך כל אחת מן הקרניים **היוצאות** מחתך העדשה. המשך בקו מרוסק כל אחת מן הקרניים בכיוון הפוך לתנועתן.

האם נפגשים המשכי הקרניים? _____ (כן/לא). 4

הציור שקיבלת הוא כמו ציור 94:

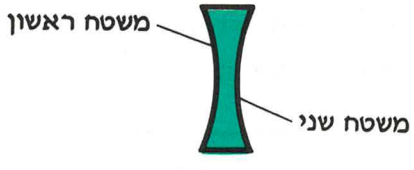


ציור 94: שבירת קרני אור בעדשה מפזרת. מבט מהצד

.10 ראינו שהקרניים, הנשברות על ידי עדשה מפזרת, _____ 1 (מתרכזות/אינן מתרכזות) לנקודה אחת. לעומת זאת הן נראות כאילו הן **מתפזרות** מנקודה אחת. את הנקודה הזאת מצאנו על ידי כך שהמשכנו את הקרניים המתפזרות בקווים מרוסקים, ומצאנו את נקודת החיתוך המשותפת של כל ההמשכים. גם במקרה הזה נקראת הנקודה הזאת בשם: "נקודת המוקד" של העדשה. אך הפעם זהו מוקד **מדומה**. רשום את המרחק של נקודת המוקד ממרכז העדשה: _____ 2 ס"מ.

מרחק זה נקרא בשם: **רוחק המוקד** f של העדשה המפזרת. כדי להדגיש שזהו מוקד מדומה, מציינים את המרחק הזה **בסימן מינוס** (סימן שלילי). במלים אחרות: רוחק המוקד של העדשה המפזרת שהשתמשת בה בניסוי זה הוא _____ 3 ס"מ = f (אל תשכח את הסימן).

כעת הפוך את חתך העדשה, הדלק את הפנס כך שהקרניים תכנסנה לחתך דרך המשטח השני ותצאנה מן המשטח הראשון. האם רוחק המוקד משתנה? _____ 4 (כן/לא). רוחק המוקד הפעם הוא _____ 5 ס"מ? (סימן?)



ציור 95: עדשה בעלת רוחק מוקד שלילי

נסכם:

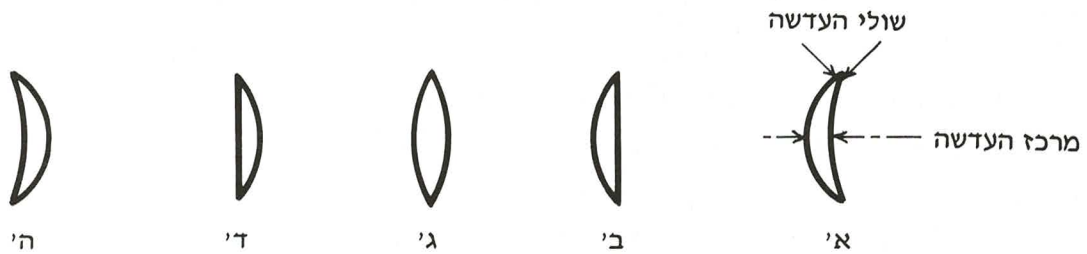
א. לעדשה מרכזת יש רוחק מוקד חיובי.

ב. לעדשה מפזרת יש רוחק מוקד שלילי. מהסיבה הזאת נקראת, לפעמים, העדשה המרכזת בשם: עדשה חיובית, והעדשה המפזרת – עדשה שלילית.

ג. לשני סוגי העדשות יש שתי נקודות מוקד. שתי הנקודות מצויות בשני צדי העדשה, במרחקים שווים ממרכזה.

11. עדשות קעורות וקמורות

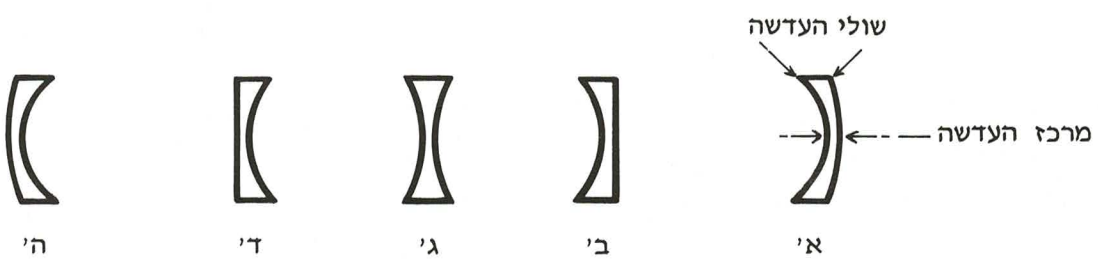
בציור שלפניך מתוארים חתכים של עדשות אחדות:



ציור 96: עדשות מרכזות. מרכזן עבה יותר משוליהן

המשותף לכל העדשות שבציור הוא שהמרכז שלהן _____ (דק/עבה) יותר מהאזורים הרחוקים מן המרכז (שולי העדשה). לכן, כל העדשות האלה הן עדשות _____ (מרכזות/מפזרות) או _____ (חיוביות/שליליות). כאשר תעבור אלומת אור מקבילה דרך אחת העדשות שבציור 96. קרני האור _____ (יתרכזו/יתפזרו) לנקודת _____ (המוקד/המרכז).

12. בציור 97 מתוארים חתכים של עדשות אחרות:



ציור 97: עדשות מפזרות. מרכזן דק יותר משוליהן

המשותף לכל העדשות האלה הוא שהשוליים שלהן _____ (דקים/עבים) יותר מן המרכז של העדשה.

כל העדשות בציור 97 נקראות בשם עדשות _____ (מפזרות/מרכזות) או עדשות _____ (חיוביות/שליליות).

כאשר נעביר אלומת אור מקבילה דרך אחת העדשות שבציור 97 הקרניים _____ (יתפזרו/יתכנסו). הקרניים **כאילו** באות מנקודת _____ (המוקד/המרכז) _____ (הממשי/המדומה).

13. לכל העדשות שציינו בסעיף הקודם יש _____ (שלושה/שני) סוגי משטחים. למשטחים אלה ניתנו שמות המתאימים לצורתם.

משטח שמרכזו בולט יותר מאשר השוליים נקרא בשם: **משטח קמור**.

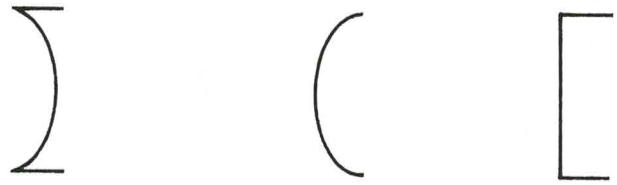
משטח, שמרכזו שקוע עמוק יותר (כמו קערה) מאשר השוליים נקרא בשם: משטח _____ (קעור/קמור).

המשטח השלישי הוא משטח _____ (קעור/קמור/מישורי).

4.א

13.

שמות העדשות מורכבים משתי מלים המתארות את צורת שני המשטחים (ציור 98). לדוגמה, העדשה המרכזת ג' שבציור 96 תיקרא קמורה קמורה. העדשה המפזרת ג' שבציור 97 תיקרא קעורה _____ (4).
בעדשות אלה שני המשטחים הם בעלי שם _____ (5) (שווה/שונה).
כאשר שני המשטחים שונים נוהגים לכנות בשם ראשון את המשטח השמאלי. לכן העדשה המרכזת א' שבציור 96 נקראת קמורה _____ (6). העדשה המרכזת ה' היא _____ (7) קמורה.
העדשה המפזרת א' שבציור 97 תקרא קעורה _____ (8). העדשה המפזרת ה' היא _____ (9) קעורה.
עדשה שאחד המשטחים שלה מישורי, תיקרא לדוגמה מישורית קמורה. זו עדשה _____ (10) (א'/ב'/ג'/ד'/ה') בציור 96. עדשה ב' שבציור 97 נקראת _____ (11) מישורית.

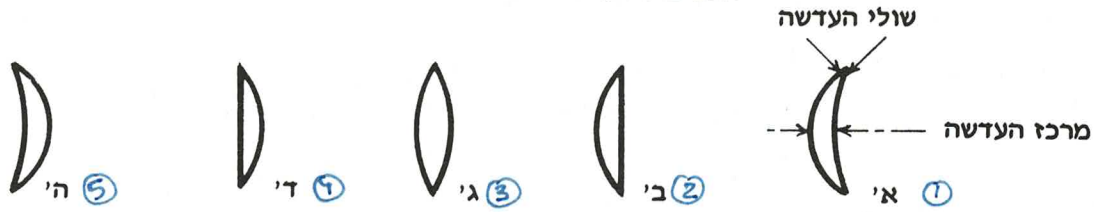


משטח מישורי | משטח קמור | משטח קעור

ציור 98: סוגי משטחים

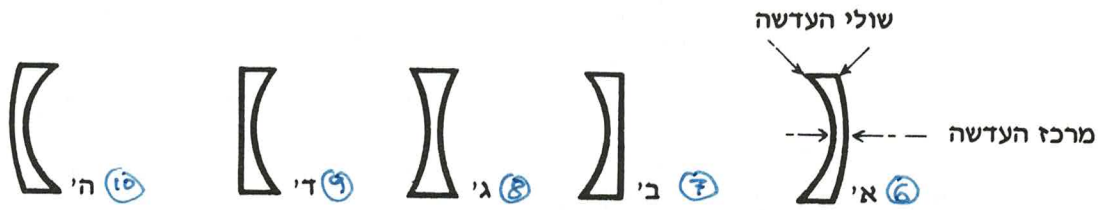
14. מלא את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה פנה למורה לקבלת שקף הבקרה ש. או"ג. 6 כדי להשוות את פתרונך לפתרון הנכון.
התבונן בציורים שלפניך ורשום מתחת לכל אחת מהעדשות המצוירות את שמה.

חתכים של עדשות מרכזות:



_____ _____ _____ _____ _____

חתכים של עדשות מפזרות:



_____ _____ _____ _____ _____

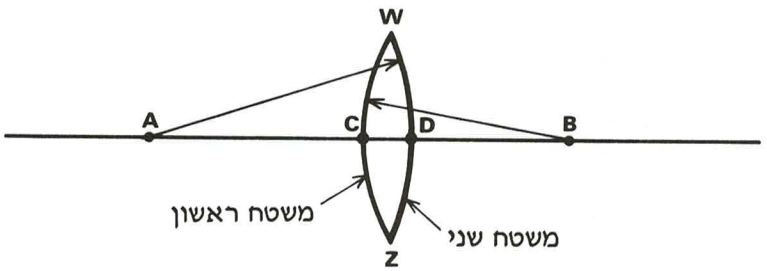
ציור 99: עדשות מרכזות ומפזרות

ש. או"ג 6

לאחר שרשמת את סוגי העדשות פנה למורה לקבלת שקף הבקרה ש. או"ג 6.

15. מרכז העיקום

לכל אחד מן המשטחים השוברים של העדשה יש **מרכז עיקום**. מרכז העיקום הוא מרכז הכדור, שהמשטח הוא חלק ממנו. בציור 100 מתוארת עדשה, ששני משטחיה _____ (קמורים/קעורים) ולצדה מסומנים מרכזי העיקום של כל אחד מן המשטחים.



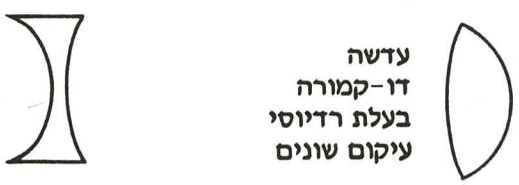
ציור 100: מרכזי העיקום של משטחי העדשה.
המרחק BC הוא רדיוס המשטח השמאלי והמרחק AD הוא רדיוס המשטח הימני של העדשה

1 הנקודה A שבציור 100 היא מרכז העיקום של המשטח _____ (הראשון/השני). הנקודה B היא מרכז העיקום של המשטח 2 _____ (הראשון/השני).

תזכורת:
סדר המשטחים השוברים נקבע משמאל לימין, המשטח WCZ הוא המשטח הראשון.

3 ודאי שמת לב כי בסרטוט שבציור 100 רדיוסי העדשה _____ (שווים/אינם שווים).

עדשה קמורה משני צדדיה או קעורה-קעורה אינה חייבת להיות בעלת רדיוסי עיקום שווים.
שני המשטחים המגבילים את העדשה משני צדדיה יכולים להיות שונים זה מזה (ציור 101).



ציור 101:

4.ב יצירת דמויות באמצעות עדשות דקות

או"ג 21

1. פתח חלון שדרכו ניתן לראות בניינים, עצים או נוף. עליהם להיות מוארים היטב באור השמש. עמוד ליד הקיר שממול לחלון והחזק עדשה מרכזת במקביל לקיר, כך שקרני האור, המגיעות מן החלון, יישברו בעדשה ויגיעו אל הקיר. שנה את מרחק העדשה מן הקיר, עד שתתקבל על הקיר תמונת הנוף, הנשקף בחלון (ציור 106)

ציור 106: הדמות המתקבלת על הקיר, כתוצאה ממהלך האור דרך עדשה מרכזת

① האם קיבלת תמונה מוגדלת או מוקטנת? תשובה: התמונה _____ (מוקטנת/מוגדלת). האם התמונה ישרה או הפוכה? תשובה: התמונה על הקיר ② _____ (הפוכה/ישרה).

צייר על הקיר שבציור את התמונה שעשויה להתקבל לאחר שבירת האור המגיע מהנוף.

2. מהי הסיבה שבגללה קיבלנו דמות בניסוי האחרון? קרני האור, שהגיעו לעדשה מנקודה **אחת** של העצם, נשברו דרך העדשה ועברו שוב, לאחר השבירה, דרך נקודה אחת. זוהי נקודת הדמות. **מכל** נקודה של העצם קיבלנו נקודת דמות, וכך התקבלה הדמות כולה.

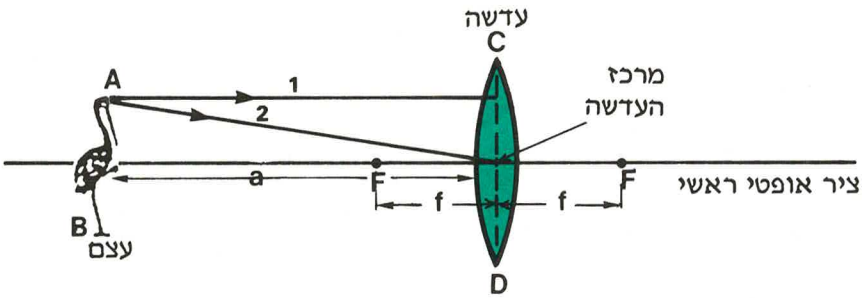
שים לב! הנאמר לעיל נכון רק לגבי קרניים, הקרובות לציר האופטי הראשי של העדשה.

3. כיצד נוכל למצוא את מקומה של הדמות ואת גודלה, בלי לערוך ניסוי? לפנינו עצם AB (ציור 107). מראש העצם (הנקודה A) יוצאות אין-סוף קרניים לכל הכיוונים. נתבונן בשתי קרניים מייצגות מתוך אין-סוף הקרניים האלה:

(1) קרן היוצאת לכיוון העדשה, במקביל לציר האופטי הראשי.

(2) קרן היוצאת לכיוון מרכז העדשה.

ב.4



ציור 107: שתי קרניים מייצגות היוצאות מראש העצם A

הערה: ציירנו את הקרן כשהיא מגיעה לקו האמצע של העדשה (הקו המרוסק CD).

במציאות נשברות הקרניים פעמיים - כשהן נכנסות לעדשה וכשהן יוצאות ממנה. אך היות שהעדשה דקה, ציור מהלך הקרניים יתואר כך שכאילו כל השינוי בכיוון הקרן קורה בקו האמצע שלה בלבד (קו CD המרוסק). בעדשה דקה אין בכך טעות של ממש.

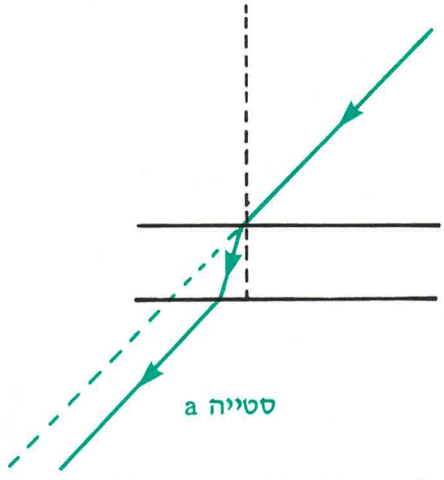
4. אם נדע דרך איזו נקודה תעבורנה שתי קרניים אלה לאחר שתשברנה בעדשה - נמצא את התמונה (הדמות) של הנקודה A. זאת, כיוון שדרך נקודה זו עוברות גם **כל** הקרניים האחרות היוצאות מנקודה A.

5. התבונן שוב בציור 107. כיצד תמשיך את קרן 1 לאחר שהיא נשברת בעדשה? קרן 1 _____ (מקבילה/מאונכת) לציר האופטי הראשי, לכן אחרי שהיא נשברת היא עוברת דרך נקודת _____ (המרכז/המוקד) של העדשה.

מלא את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 8 כדי להשוות את פתרונך לפתרון הנכון.
סרטט את מהלכה של קרן 1 (ציור 107) לאחר שבירתה בעדשה.
כיצד תמשיך את קרן 2? כאן יש לזכור שני דברים:

א. קרן 2 פוגעת בעדשה הדקה במקום ששני הצדדים של העדשה יכולים להיחשב מקבילים זה לזה. [שניהם _____ (מקבילים/מאונכים) לציר האופטי הראשי, קרוב מאוד למרכז העדשה].

ב. מסיבה זו, מצבה של קרן זו (2) הוא כמצב קרן החודרת דרך שמשה דקה בעלת דפנות מקבילות.
חזור לסעיף 3.ב.9. שם ראינו כי בחלון רגיל, נכנסו קרני האור לחדר באותו כיוון שבו הן פגעו בדופן החיצוני של השמשה, בסטייה קלה (ציור 108). לכן אפשר לומר, כי קרן זו (קרן 2 בציור 107), יוצאת מהעדשה לאחר שנשברה בה _____ (באותו כיוון של ה/בכיוון מאונך ל) קרן הפוגעת.



ציור 108: מהלך קרן אור דרך שמשה דקה

סרטט (בציור 107) את מהלך קרן 2 לאחר שעברה בעדשה הדקה.
סמן את נקודת המפגש של שתי הקרניים המייצגות ב-A', נקודה זו היא **דמות** ראש העצם A.
לאחר שסרטטת את מהלך שתי הקרניים 1 ו-2 פנה למורה לקבלת שקף הבקרה.
בדוק את סרטוטך בהתאם לסרטוט העליון.

6. האם הקרניים, שנשברו בעדשה, נפגשו מצד ימין שלה? _____ (כן/לא). אם כן, הרי שם מתקבלת תמונה **ממשית** של ראש העצם. אם נשים מסך באותו מקום, תתרכז עליו התמונה של העצם. בדרך דומה אפשר לקבל גם את מקום הדמות של בסיס העצם.

7. מלא את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 8 כדי להשוות את פתרונך לפתרון הנכון.
סרטט (בציור 107) שתי קרניים מייצגות היוצאות מבסיס העצם B:
קרן אחת - היוצאת לכיוון העדשה, במקביל לציר האופטי הראשי.
קרן שנייה - היוצאת לכיוון מרכז העדשה.
סרטט את מהלך הקרניים האלה לאחר השבירה. סמן את נקודת המפגש ב-B'. נקודה זו היא **דמות** בסיס העצם B. חבר את הנקודות A' ו-B'.
קיבלת את דמות העצם. בדרך זו קיבלנו לא רק את **מקום** הדמות (כלומר, את מרחק הדמות מן העדשה), אלא גם את **כיוונה** של הדמות ואת **גודלה**.
בציור, שהתבקשת להשלים זה עתה, מתקבלת דמות _____ (ממשית/מדומה), _____ (הפוכה/ישרה) ו _____ (גדולה/קטנה) מהעצם.
לאחר שסרטטת את מהלך שתי הקרניים היוצאות מבסיס העצם B, פנה אל המורה לקבלת אותו שקף בקרה, ש. או"ג 8 בדוק את סרטוטך בהתאם לסרטוט התחתון שבשקף.

8. זהירות! אל תסיק מהתוצאות שקיבלת בציור 107, שבכל מרחק בין הגוף לעדשה תתקבל דמות כפי שקיבלת.

נסמן בציור 107 את מרחק הגוף ממרכז העדשה באות a. את רוחק המוקד נסמן באות f. (1)

מדוד את a בציור 107 _____ מ"מ = a.

מדוד את רוחק המוקד (2) _____ (f/a). (3) _____ מ"מ = f.

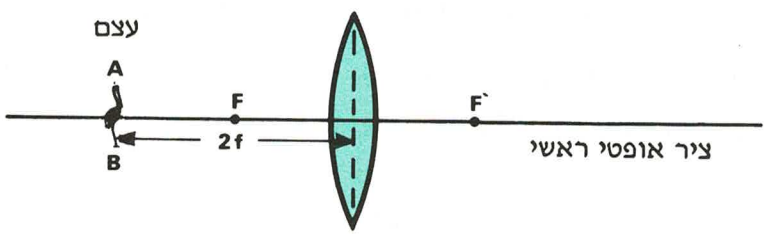
מכאן רואים שבציור 107 מרחק העצם מהעדשה (4) _____ (a/f)

(5) _____ (גדול מ/ קטן מ/ שווה ל) **פעמיים** רוחק המוקד f.

ניסויים וסרטוטים נוספים מאשרים, כי כאשר מרחק העצם מהעדשה גדול מפעמיים רוחק המוקד, מקבלים דמות בין המוקד לפעמיים רוחק המוקד. תכונות הדמות הן: ממשית, הפוכה ומוקטנת.

9. מהי הדמות הנוצרת מעצם המוצב לפני עדשה במרחק השווה בדיוק לפעמיים רוחק המוקד?

מצב זה מתואר בציור שלפניך:



ציור 109: a = 2f

נעביר את שתי הקרניים המייצגות.

צייר קרן 1 יוצאת מ-A במקביל (1) _____ (לעצם/לציר). הקרן נשברת בעדשה כך, שהיא ממשיכה דרך המוקד (2) _____ (F'/F).

קרן 2 יוצאת אף היא מ-A דרך מרכז העדשה. קרן זו (3) _____ (נשברת/אינה נשברת) בעוברה דרך העדשה. מקום פגישת שתי הקרניים הוא נקודת (4) _____ (העצם/הדמות/המוקד/מרכז העיקום).

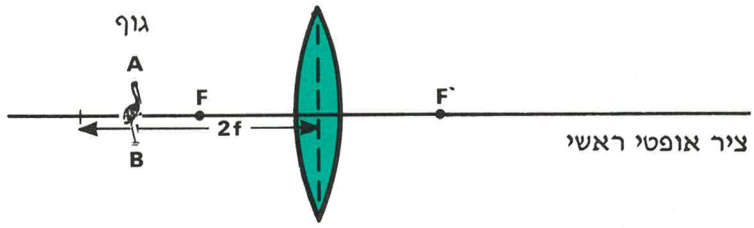
באותו אופן מצא את נקודת הדמות של תחתית העצם (נקודה B בציור 109). העבר קו ישר בין שתי נקודות הדמות כדי לקבל את התמונה כולה.

מן התמונה, המתקבלת בציור 109 אנו רואים, שבמקרה זה, הדמות (5) _____ (ישרה/הפוכה), (6) _____ (מוגדלת/מוקטנת/שווה לעצם) ו (7) _____ (ממשית/מדומה).

מקומה של הדמות הוא בדיוק במרחק (8) _____ (2f/f) ממרכז העדשה.

10. בצע את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה, פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 9, כדי להשוות את פתרונך לפתרון הנכון.

.10



ציור 110: $f < a < 2f$

בציור 110, a קטן מ-2f אך גדול מ-f. מצא את דמות ראש העצם בצד ימין של העדשה. אחר כך מצא את נקודת הדמות של תחתית העצם. לבסוף צייר את הדמות כולה.

ענה על השאלות האלה:

הדמות במקרה זה (1) _____ (ישרה/הפוכה); (2) _____

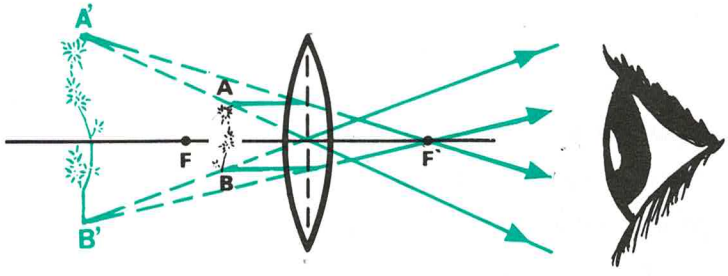
(מוגדלת/מוקטנת); (3) _____ (ממשית/מדומה).

מקומה של הדמות (4) _____ (קרוב/רחוק) יותר מ-2f מהעדשה.

לאחר ביצוע המשימה פנה אל המורה לקבלת שקף הבקרה לבדיקת סרטוטיך ותשובותיך.

ש.אר'ץ פא

.11 מצב שונה לחלוטין מאשר במקרים האחרונים קורה כאשר $a < f$ (ציור 111). כלומר, כאשר מרחק (1) _____ (העצם/הדמות) מהעדשה קטן מ (2) _____ (מוקד/רדיוס) העדשה.



ציור 111: $a < f$

קרן 1 מקבילה לציר האופטי (3) _____ (ומוחזרת/ונשברת) דרך המוקד (4) _____ (F'/F).

קרן 2 עוברת דרך (5) _____ (מוקד/מרכז) העדשה ואינה נשברת.

רואים ששתי הקרניים המייצגות (6) _____ (נפגשות/אינן נפגשות). נצייר את המשך הקרניים. המשך הקרניים (7) _____ (נפגש/לא נפגש) בנקודה 'A.

'A היא נקודת (8) _____ (העצם/הדמות) של נקודה A. מנקודה B סרטטנו שוב את הקרניים המייצגות וקבלנו על ידי המשך הקרניים את נקודת הדמות (9) _____ ('B/B).

חיבור הנקודות 'A ו-'B נותן את הדמות כולה.

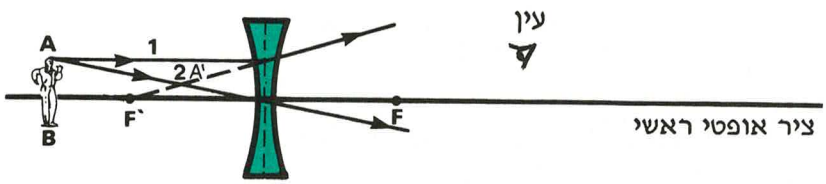
הסרטוט מראה שהדמות (10) _____ (ישרה/הפוכה), (11) _____

(מוגדלת/מוקטנת) ו _____ (ממשית/מדומה). דמות כזו _____ (אפשר/אי אפשר) לקבל על מסך.

12. כדי לראות את הדמות המדומה המתקבלת, חייבים למקם את העין מצד ימין של העדשה. העין רואה את נקודת המפגש של המשכי הקרניים כאילו היא מקור של אור, בדיוק באותו אופן שבו רואה העין דמויות מדומות במראות.

שימושה של העדשה במצב זה שבו $a < f$ הוא בהגדלת עצמים, לדוגמה בבדיקת בולים, בהגדלת כתב קטן צפוף וכדומה. לעדשה במצב זה קוראים **זכוכית** _____ (**מקטנת/מגדלת**).

13. עדשות שאינן יוצרות כלל דמות ממשית מעצם הניצב לפניהן בכל מרחק אפשרי, הן עדשות מפזרות (עדשות שליליות).



ציור 112:

כדי למצוא את הדמות נעביר גם הפעם שתי קרניים מייצגות. קרן 1 יוצאת מנקודה A, הנמצאת בראש העצם. היא נעה במקביל לציר האופטי הראשי. היא נשברת בעדשה _____ (ומתרכזת/ומתפזרת) כאילו שהיא באה מ _____ (F'/F).

קרן 2 יוצאת מאותה נקודת עצם, כלומר, מהנקודה _____ (B/A) דרך מרכז העדשה. היא ממשיכה _____ (באותו כיוון/בכיוון המוקד). שתי הקרניים _____ (נפגשות/ אינן נפגשות) אחרי העדשה, ולכן אין מקום כלשהו _____ (מימין/משמאל) לעדשה שאפשר להעמיד בו מסך ולקבל עליו את דמות העצם. ואולם, אם העין תמצא מימין לעדשה, היא תקלוט בה ישירות את הקרניים היוצאות מן העדשה. לעין ידמה כאילו הן באות מ-A'. סמן בציור את הנקודה A'. נקודה זו היא דמותה _____ (המדומה/הממשית) של הנקודה A.

14. בצע את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 9, כדי להשוות את פתרונך לפתרון הנכון.

סרטט קרניים מייצגות דומות מקצהו השני של העצם (מנקודה B) וקבל את דמותו (B'). חבר את A' עם B'. חיבור A' עם B' נותן את דמות כל העצם.

לאחר שסיימת פנה אל המורה לקבלת שקף הבקרה ובדוק את סרטוטך בהתאם לסרטוט התחתון.

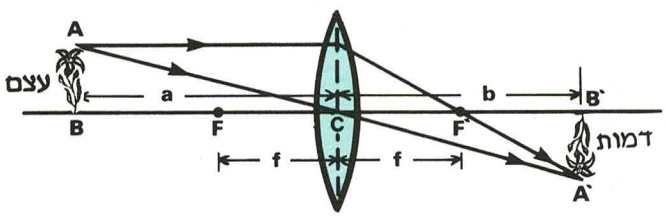
15. אחד מהשימושים הנפוצים ביותר בעדשות שליליות (מפזרות) הוא במשקפיים לאנשים קצרי ראייה, כפי שיוסבר בהמשך.

16. לסיכום, השלם את החסר בטבלה שלפניך. היעזר בסרטוטים הקודמים:

	מרחק העצם מהעדשה	מרחק הדמות מהעדשה	אופי הדמות	גודל הדמות ביחס לעצם
עדשה מרכזת	גדול מ-2f	(1)	ממשית, הפוכה	(2)
	2f	במרחק 2f	(3)	(4)
	בין f ל-2f f<a<2f	(5)	(6)	מוגדלת
	לפני המוקד a < f	(7)	מדומה, ישרה	(8)
עדשה מפזרת	אחרי המוקד F'	(9)	(10)	מוקטנת
	לפני המוקד F'	לפני המוקד F'	(11)	(12)

4.ג נוסחת העדשות הדקות

1. בכל הסרטוטים המתארים את מהלך קרני האור ואת שבירתן בעדשות (ציור מס' 107 וציורים מ-109 עד 112), נוכחנו לדעת, כי כאשר משנים את המרחק בין **העצם** לעדשה, מרחק **הדמות** מן העדשה _____ (1) (משתנה/אינו משתנה). את מרחק העצם מן העדשה סימנו בסעיף 4. ב. 8 באות _____ (2) (a/b). את מרחק **הדמות** מן העדשה נסמן באות b. ציור 113 מציין את המרחקים האלה:



ציור 113: מרחקי העצם והדמות מן העדשה

מרחק העצם מן העדשה בציור 113 הוא הקטע _____ (3) (BC/AB).

מרחק זה מסומן בציור 113 באות _____ (4) (a/b/f).

מרחק הדמות מן העדשה הוא הקטע _____ (5) (CB'/BC). קטע זה סומן באות _____ (6) (a/b/f). האות f שבציור 113 מציינת את _____ (7) (עובי/רוחק המוקד של) העדשה.

את המרחקים a, b ו-f מקשרת הנוסחה הזאת:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

הנוסחה ידועה בשם: נוסחת העדשות הדקות.

מדוד בעזרת סרגל, בכל אחד מן הציורים 107 ו-109 עד 112, את שלושת המרחקים a, b ו-f. בדוק אם נוסחה זו אכן מתקיימת. השלם את הטבלה שלפניך.

שים לב להערות הנמצאות בעמוד 108 המתייחסות לציורים 111 ו-112.

ציור	a במ"מ	b במ"מ	f במ"מ	$\frac{1}{f}$	$\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$	האם הנוסחה מתקיימת (כן/לא)
107	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
109	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
110	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)
111(1)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)
112(2)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)

הערות:

(1) **כאשר הדמות מדומה, לגודל b סימן שלילי.**

(2) כאשר העדשה מפזרת _____ (חיובית/שלילית) רוחק המוקד הוא מספר שלילי, כיוון שהדמות מדומה גם b מספר _____ (שלילי/חיובי).

בבטוי $\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ יש להציב כל גודל עם סימנו המתאים.

אם תמדוד היטב את הגדלים שבסרטוטים, תופיע המלה "כן" לאורך כל הטור האחרון שבטבלה.

2. נוסחת ההגדלה

כמו במראות, גם בנושא עדשות מוגדר המושג הגדלה.

ההגדלה מגדירה פי כמה גדולה או קטנה הדמות מהעצם.

כאשר הדמות גדולה מהעצם, ההגדלה גדולה מ-1.

כאשר הדמות קטנה מהעצם, ההגדלה _____

(גדולה מ/קטנה מ)-1.

כאשר הדמות שווה לעצם, ההגדלה _____

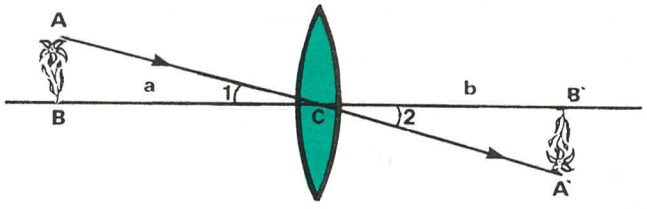
(גדולה מ/קטנה מ/שווה ל) 1.

בציור 114 העתקנו חלק מציור 113.

ציירנו את העצם AB ואת הדמות _____ (AB /A' B').

כמו כן העתקנו את הקרן העוברת דרך _____ (מרכז/מוקד העדשה).

ההגדלה היא היחס שבין גודל _____ (העצם/הדמות) לגודל _____ (העצם/הדמות), כלומר $\frac{A'B'}{AB}$.



ציור 114: דמות ועצם ומרחקיהם ממרכז עדשה מרכזת

נחפש את הקשר בין ההגדלה לבין מרחק העצם מהעדשה (a) ומרחק הדמות מהעדשה (b).

נתבונן בשני המשולשים ABC △ ו-A'B'C △. לשני המשולשים זווית _____ (ישרה/קהה).

$\sphericalangle C_1 = \sphericalangle C_2$, כי הן זוויות _____ (מתאימות/מתחלפות/קודקודיות), לכן גם $\sphericalangle A = \sphericalangle A'$. שלוש הזוויות שוות בהתאמה, לכן שני המשולשים דומים: למדנו בסעיף 1. ב. 8 כי בשני משולשים דומים קיים יחס _____ (ישר/הפוך) בין הצלעות המתאימות.

לכן: $\frac{A'B'}{AB} = \frac{b}{a}$

נסכם:

נוסחת ההגדלה היא: $\frac{A'B'}{AB} = \frac{b}{a}$

3. חזור שוב לציור 107 וכן לציורים 109 עד 112 ומדוד בכל אחד מהם את גודלה של הדמות ואת גודלו של הגוף. מלא את הטבלה ובדוק אם נוסחת ההגדלה מתקיימת. (את a ואת b כבר מדדת בטבלה הקודמת , בסעיף 4. ג. 1, ואינך צריך למדוד אותם שוב.)

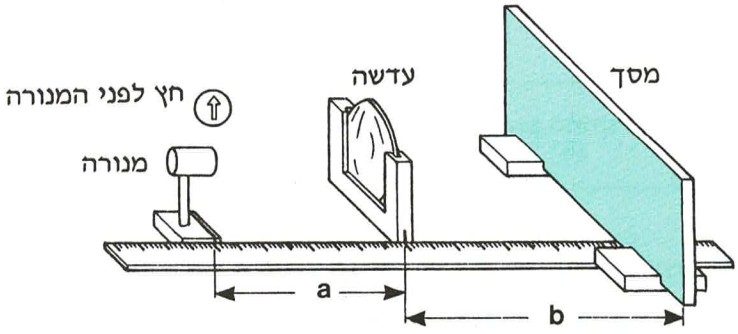
שים לב! בטור A'B' (גובה הדמות) יש להוסיף סימן **מינוס** אם הדמות הפוכה.

ציור	$\frac{b}{a}$ לפי הטבלה הקודמת	A' B' (מ"מ)	AB (מ"מ)	$\frac{A'B'}{AB}$	האם $\frac{A'B'}{AB} = \frac{b}{a}$ (כן/לא)
107	1	2	3	4	5
109	6	7	8	9	10
110	11	12	13	14	15
111	16	17	18	19	20
112	21	22	23	24	25

אם דייקת בציוריך ובמדידתם, צריכה הטבלה הזאת להסתיים ב"כן" לאורך כל הטור האחרון.

4. בדיקת נוסחת העדשות הדקות שערכת בסעיף 4. ג. 1, $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ הסתמכה על סרטוט מהלכן של קרני האור. נערוך ניסוי כדי לבדוק את הנוסחה הזאת בתנאי המציאות על פי המערך המתואר בציור 115.

או"ג 22



ציור 115: ניסוי או"ג 22: בדיקת נוסחת העדשות הדקות

.4

הדלק את האור במנורה. הזז את המנורה ואת העדשה עד שתקבל דמות ברורה מרוכזת וחדה של החץ (של העצם) על המסך. הדמות היא

(1) _____ (ממשית/מדומה) (2) _____ (הפוכה/ישרה)

(3) _____ (מוגדלת/מוקטנת). התבונן בציור 115, מרחק העצם (החץ) מהעדשה הוא (4) _____ (a/b). מרחק הדמות מהעדשה הוא

(5) _____ (a/b). רשום את המרחקים האלה בטבלה שלפניך. מרחק העצם **מהדמות** הוא (6) _____ [(a+b)/(a−b)]. שנה את המרחק a+b שבין החץ (7) _____ (לעדשה/למסך) ומצא את מקום העדשה כך, שתקבל שוב דמות ברורה על המסך.

חזור על הניסוי הזה לפחות לגבי 5 מרחקים שונים ומלא את הטבלה הזאת:

מדידה מס'	a (מ"מ)	b (מ"מ)	$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}$
1	(8)	(9)	(10)
2	(11)	(12)	(13)
3	(14)	(15)	(16)
4	(17)	(18)	(19)
5	(20)	(21)	(22)
6	(23)	(24)	(25)
7	(26)	(27)	(28)

ממוצע: (29)

.5 הטור האחרון בטבלה אמור לתת תוצאה (כמעט) קבועה לכל המדידות. אם אכן קיבלת זאת הרי זוהי הוכחה **ניסויית** לכך, שנוסחת העדשות נכונה. מצא את ממוצע הטור האחרון ורשום את ערכו.

לפי הנוסחה $\frac{1}{f} = \frac{1}{__} + \frac{1}{a}$ נובע כי ממוצע הטור האחרון הוא ערך הפוך (אחד חלקי) (1) _____ (רוחק המוקד של/אחד מרדיוסי) העדשה. לכן רוחק המוקד f שווה $\frac{1}{\text{ממוצע}}$.

מצא את ערכו של f: (2) _____ מ"מ = f

.6 הגודל $\frac{1}{f}$ המופיע בנוסחת העדשות הדקות מכונה בפי האופטיקאים בשם: "**עוצמת העדשה**". עוצמת העדשה (מסומנת באות P) נמדדת ביחידה הנקראת בשם: "**דיאופטריה**", בתנאי שמבטאים את רוחק המוקד f

.6

במטרים. כלומר:

$$P = \frac{1}{f\ (\text{במטרים})}\ (\text{בדיאופטריות})$$

הגודל P (עוצמת העדשה) מציין כמה פעמים נכנס רוחק המוקד של העדשה במטר אחד.

מהנוסחה האחרונה רואים שככל שרוחק המוקד קצר, כך _____ (1) (קטנה/גדולה) עוצמת העדשה. לעדשות מרכזות רוחק מוקד חיובי לכן גם עוצמת העדשה שלהן היא _____ (2) (חיובית/שלילית). רוחק המוקד של עדשות מפזרות הוא _____ (3) (שלילי/חיובי) לכן עוצמת העדשה שלהן היא _____ (4) (חיובית/שלילית).

7. רוחק המוקד של העדשה שבה השתמשת בניסוי האחרון או"ג 22 הוא _____ (1) מ"מ, כלומר _____ (2) מטר.

מכאן, עוצמת העדשה היא $\frac{1}{__}$ (3) מטר = P, _____ (4) דיאופטריות = P.

8. מהי העוצמה של עדשה בעלת רוחק מוקד של 0.5 מ'?

תשובה: _____ (5) דיאופטריות = $\frac{1}{__}$ (6) = $\frac{1}{f}$ = P

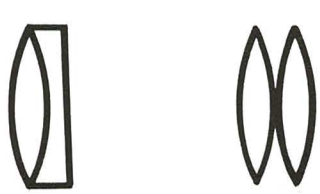
מהו רוחק המוקד של עדשה שעוצמתה (4-) דיאופטריות (מינוס ארבע דיאופטריות)?

תשובה: (_____ (7) -) ס"מ = (_____ (8) -) מטר = $\frac{1}{__}$ (9) = $\frac{1}{P}$ = f

9. **צירוף עדשות**

היתרון העיקרי, שיש לעובדה, שמבטאים את עוצמת העדשה בדיאופטריות, הוא בקביעת רוחק המוקד של עדשות דקות **הנמצאות במגע זו עם זו** (ציור 116). כאשר עדשה אחת היא בעלת עוצמה P_1, והאחרת היא בעלת עוצמה P_2, מתייחסים אל צירוף שתי העדשות כאל עדשה יחידה. עוצמת צירוף העדשות שווה לסכום העוצמות של העדשות היחידות.

$$P = P_1 + P_2$$



ציור 116: צירוף עדשות

בציור 116 שלפניך, הצירוף הימני הוא של שתי עדשות. כל אחת _____ (1) (קמורה-קמורה/קמורה-קעורה). הצירוף השמאלי הוא של עדשה קמורה-קמורה עם _____ (2) (קמורה-מישורית/קעורה-קמורה/קעורה-מישורית).

10. מהו רוחק המוקד של צירופן של שתי עדשות דקות, הנמצאות במגע זו עם זו? רוחקי המוקד של העדשות בנפרד הם: 30 ס"מ ו-(15-) ס"מ.

תשובה:

f_1 = 30 ס"מ = 0.3 מטר $P_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{__}$ = _____ דיאופטריות (1) (2)

f_2 = (15-) ס"מ = (___-) מטר $P_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{__}$ = _____ דיאופטריות (3) (4) (5)

עוצמת העדשה המורכבת היא P:

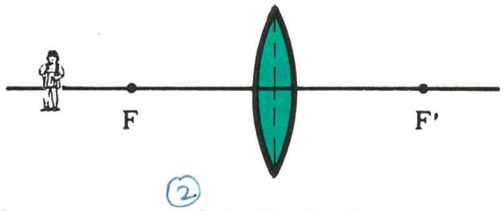
$P = P_1 + P_2$ = _____ + _____ = _____ דיאופטריות (6) (7) (8)

רוחק המוקד של צירוף העדשות הוא:

$f = \frac{1}{P}$ = _____ מטר = _____ ס"מ (9) (10)

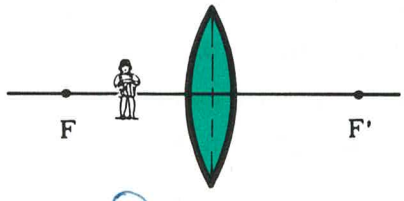
11. בצע את המשימה שלפניך. לאחר שתסיים אותה פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש. או"ג 10 כדי להשוות את פתרונך לפתרון הנכון.

בעזרת סרטוט קרניים מייצגות, מצא את דמויות העצמים בכל אחד משלושת המקרים המצוירים בציור 117. לאחר שסרטטת - השלם את המשפטים:



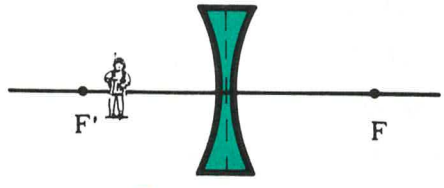
הדמות: _____ (הפוכה/ישרה) _____ (ממשית/מדומה) (1) (2)

_____ (מוגדלת/מוקטנת/שווה לעצם)



הדמות: _____ (הפוכה/ישרה) _____ (ממשית/מדומה) (3) (4)

_____ (מוגדלת/מוקטנת/שווה לעצם) (5)



הדמות: _____ (הפוכה/ישרה) _____ (ממשית/מדומה) (6) (7)

_____ (מוגדלת/מוקטנת/שווה לעצם) (8)

ציור 117: מציאת דמות של גופים שונים

ש. או"ג 10

11.

לאחר שסיימת - פנה אל המורה לקבלת שקף הבקרה, לבדיקת הסרטוטים והתשובות.

סיימת לעבוד על פרק 4 ענה על שאלות הסיכום שלפניך. פנה לרשימת היעדים שבתחילת הפרק, ובדוק אם אכן הושגו יעדים אלה.

9 1. מהי עדשה? _____

10 2. במה שונה עדשה מרכזת מעדשה מפזרת? _____

11 3. מהי נקודת מוקד של עדשה? _____

12 4. מהי דמות ממשית ומתי היא נוצרת? הבא דוגמה. _____

13 5. מהי דמות מדומה ומתי היא נוצרת? הבא דוגמה. _____

14 6. כתוב את הנוסחה של העדשות הדקות והסבר את המשמעות של כל אחת מהאותיות שבנוסחה. _____

15 7. כמה נקודות מוקד יש לעדשה מרכזת? _____
ולעדשה מפזרת? _____.

16 8. כיצד נוכל להבחין בין דמות ממשית לבין דמות מדומה? _____

17 9. באיזה תנאי יוצרת עדשה מרכזת דמות מדומה? _____

18 10. באיזה תנאי יוצרת עדשה מפזרת דמות מדומה? _____

19 11. תאר את מהלך הקרניים המייצגות קבלת דמות בזכוכית מגדלת. _____

20 12. תאר את שלוש תכונות הדמות שנוצרת בעדשה מרכזת, כאשר רוחק העצם מהעדשה שווה ל-2f (f רוחק המוקד). _____

13. מהי הגדלה של עדשה ומהי נוסחת ההגדלה של עדשה?

(1)

_____

_____

14. מהי עוצמת עדשה ומהן יחידותיה?

(2)

_____

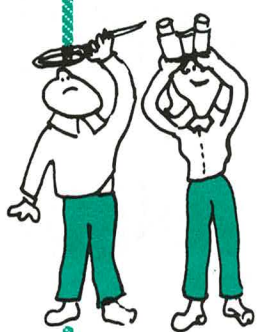
15. כיצד מחשבים את עוצמת העדשה של שתי עדשות מצורפות?

(3)

_____

החומר ידוע היטב? פנה למורה להפניה לדפי חזרה על פרק 4 לקראת המבחן.

ב ה צ ל ח ה !

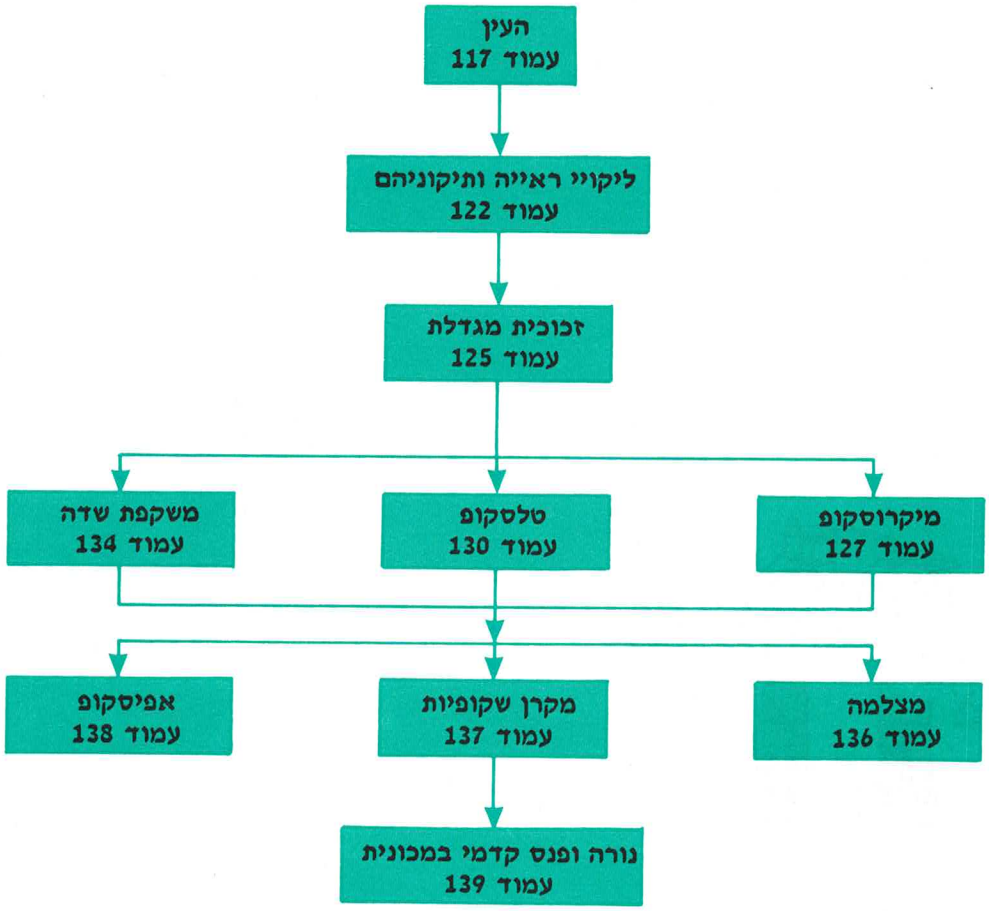


פרק 5

עדשות ומראות במכשירים אופטיים

פרק 5 – עדשות ומראות במכשירים אופטיים

תרשים מהלך נושא הלימוד



בסיום פרק זה אתה אמור:

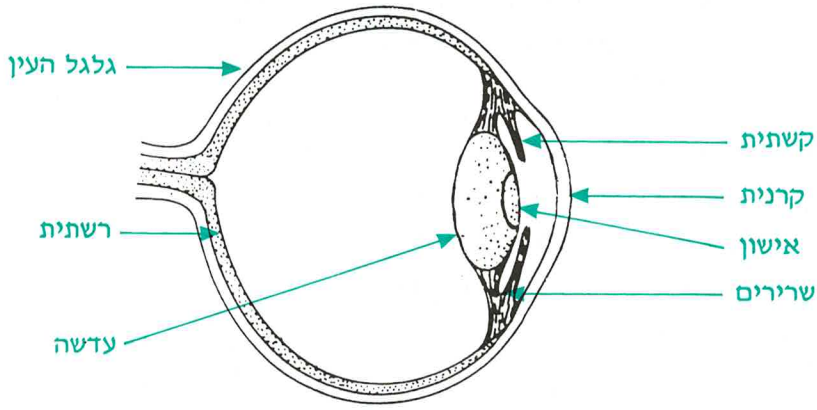
1. להבין את המבנה של מכשירים אופטיים מוכרים.
2. להכיר מכשירים אופטיים שאינם ידועים לך ואת המבנה שלהם.
3. להבין את השימוש בעדשות ובמראות במכשירים אופטיים.
4. לנתח את תפקידי העדשות ואת תפקידי המראות במכשירים אופטיים שונים.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלה אמנם הושגו

5.א העין

1. חוש הראייה הוא אחד החושים החשובים לנו ביותר. לא לחינם נחשבת "בבת העין" (אישון העין, הפתח דרכו נכנס האור פנימה לעין) לדבר היקר לנו ביותר. מי שזוכה לראייה תקינה נהנה מאחת ממתנות הטבע המופלאות ביותר.

רוב האנשים יכולים ליהנות מראייה של צבעים, צורות ותנועה. כל אלה מתאפשרים בזכות האור הבוקע מכל הסובב אותנו ומגיע לעין. ציור 118 מציג חתך של החלקים האופטיים של העין:

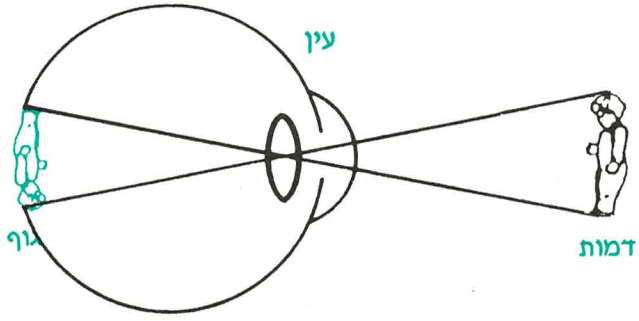


ציור 118: חתך עין אנושית

תהליך הראייה מתחלק לשני חלקים:

א. החלק האופטי. היוצר דמות חדה של הנראה (ציור 119) על הרשתית.

ב. פיענוח התמונה. תאי עצבי הראייה מעבירים את אותות התמונה שעל הרשתית אל המוח. המוח מפרש את האותות, כך שאנו רואים את העצמים במקום שבו הם נמצאים.



ציור 119: השלב האופטי בתהליך הראייה

שים לב:
הדמויות הנוצרות על רשתית העין הן דמויות ממשיות, מוקטנות והפוכות. המוח מפרשן כדמויות ישרות המתקבלות במקום המצאן.

2. התבונן בציור 118 והשלם בעזרתו את הפרטים החסרים:

א. לעין צורת _____ (כדור/צלחת/תיבה).

ב. השכבה הראשונה, שהאור חודר אליה נקראת בשם: _____ (קשתית/קרנית).

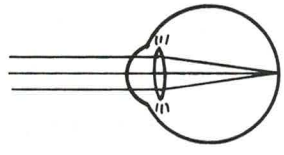
ג. קרני האור חודרות לעין דרך פתח הנקרא בשם: _____ (רשתית/אישון).

ד. הקרניים העוברות פנימה דרך האישון נשברות ב _____ (קשתית/רשתית/עדשה).

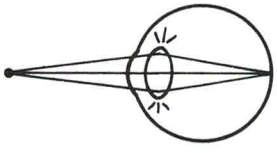
ה. לבסוף נוצרת תמונה על _____ (הקשתית/העדשה/הרשתית).

התנאי לראייה ברורה של גוף כלשהו הוא שהעין תיצור תמונה חדה של הגוף על הרשתית.

3. כדי לראות היטב עצמים במרחקים שונים, בנויה עדשת העין כך שהמבנה הגיאומטרי שלה יכול להשתנות. סביב העדשה יש שרירים שהמיוחד בהם הוא יכולתם לשנות את צורת משטחי העדשה באופן שרדיוסי העיקום של משטחים אלה משתנים. בציור 120 נראים שרירי העין רפויים לחלוטין. במצב זה רדיוסי העיקום של עדשת העין הם הגדולים ביותר. בציור 121 נראים שרירי העין מאומצים. הם גורמים לכך שרדיוסי העדשה של העין _____ (קטנים/גדלים) ביחס למצב הרפוי. במצב זה העדשה **מתקמרת**.



ציור 120:
שרירים רפויים, רדיוסי המשטחים מירביים

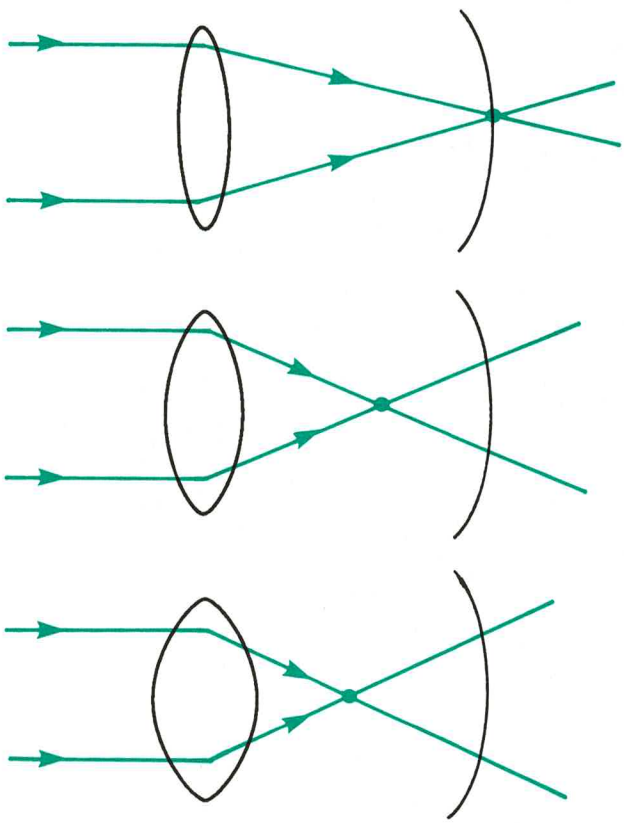


ציור 121:
שרירים מאומצים, העדשה מקומרת. רדיוסי המשטחים קטנים יותר מאשר במצב רפוי

4. כאשר מסתכלים על עצמים הנמצאים **במרחק רב** מהעין, שרירי העין **רפויים לגמרי**. קרני האור המגיעות מרחוק נחשבות לקרניים _____ (מקבילות/מאונכות) לציר האופטי של עדשת העין. במצב זה הדמות הנוצרת על הרשתית היא נקודת _____ (המוקד/המרכז) של העדשה **הרפויה**. כמו כן רוחק המוקד של העדשה שווה למרחק שבין העדשה לרשתית. בציור 122 רואים, שכאשר העין מתקמרת, רוחק המוקד הולך ומתקרב _____ (לרשתית/לעדשת העין). תמונה ברורה של עצמים רחוקים כבר אינה מתקבלת על _____ (האישון/הקשתית/הרשתית).

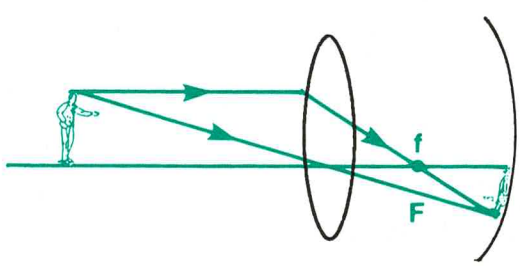
5.א

כאשר העצם קרוב יותר לעין (ציור 121), עדשת העין חייבת להתקמר. מוקד העדשה f _____ (מתקרב ל/מתרחק מה) עדשה ועל הרשתית מתקבלת דמות ברורה. רוחק הדמות מהעדשה הוא תמיד קבוע ושווה למרחק מהעדשה _____ (לרשתית/לקשתית).



ציור 122: רוחק המוקד של עדשת העין הולך וקטן ככל שהעדשה מתקמרת

מנוסחת העדשות הדקות נובע לפיכך, שככל שהעצם קרוב יותר, רוחק המוקד חייב לקטון. לכן העדשה חייבת להתקמר יותר.



ציור 123: דמות קרובה הנוצרת ברשתית

לראיית עצם קרוב, רוחק המוקד של עדשת העין קטן כתוצאה מקימור העדשה.

5. היכולת של העין לראות בבירור ממרחקים שונים נקראת בשם "**הסתגלות**". מפתיע עד כמה קטנים השינויים, החלים בעוביה של העדשה

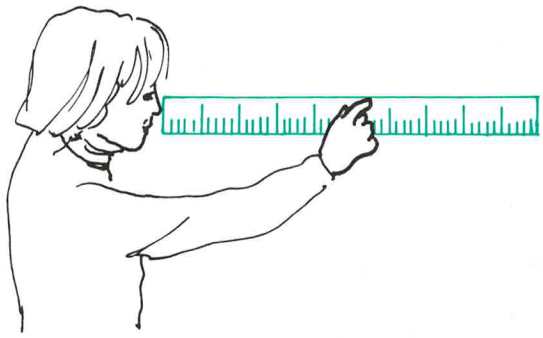
.5

בעת ההסתגלות, כלומר, במעבר מראיית גופים קרובים ביותר לראייה של גופים רחוקים ביותר. השינוי המרבי בעובי העדשה הוא כ-0.5 מילימטר.

כשהעין מסתגלת לראות גופים רחוקים מאוד, המאמץ הנדרש מהשרירים המקיפים את העדשה קטן ביותר (העין רפויה, נינוחה). כאשר העין מסתגלת לראות גופים ההולכים ומתקרבים אלינו, המאמץ הנדרש משרירי העין הולך ו_____ (גדל/קטן). העין מתקמרת יותר, רוחק המוקד _____ (קטן/גדל) והעצמים הקרובים נראים בבירור. ברור שיש גבול למאמץ, ששרירים אלה יכולים להפעיל. לכן קיים מרחק גוף מזערי שממנו העין כבר **אינה מסוגלת** לרכז דמות חדה על הרשתית. המרחק המזערי הזה, המשתנה מאדם לאדם, נקרא **מרחק הראייה הקצר ביותר**.

6. בניסוי פשוט תוכל למדוד את מרחק הראייה הקצר ביותר שלך. שים סרגל במאונך לפניך. קרב את אצבעך והתבונן בטביעות האצבע שעליה. יתברר לך, שקיים מרחק מזערי שקרוב ממנו קווי טביעות האצבע נראות מטושטשות. מרחק הראייה הקצר ביותר הוא _____ ס"מ.

או"ג 23



ציור 124: מדידת מרחק הראייה הקצר ביותר

7. המקום הקרוב ביותר שבו נראה העצם בבירור נקרא גם בשם: **הנקודה הקרובה של העין**. מרחק הנקודה הקרובה של העין, כלומר מרחק הראייה _____ (הארוך/הקצר) ביותר משתנה מאדם לאדם. אפילו אצל אותו אדם הוא משתנה עם הגיל. לילדים קטנים יש עדשה גמישה מאוד ומרחק הראייה הקצר ביותר שלהם עשוי להיות סנטימטרים אחדים. הממוצע באוכלוסית המבוגרים הוא כ-25 ס"מ.

8. היכן נמצאת "הנקודה הרחוקה ביותר" של עינך? כלומר באיזה מרחק _____ (הגדול/הקטן) ביותר תוכל לראות באופן ברור?

אם ראייתך תקינה ועיניך מסוגלות לראות את הנוף, את הירח ואת הכוכבים, הרי עבורך המרחק הזה הוא אין-סופי. אכן, כל אדם, שתחום הראייה הברורה שלו הוא בין 25 ס"מ ועד אין-סוף, נחשב לאדם בעל ראייה תקינה.

לסיכום:

א. הסתגלות העין היא תכונה המאפשרת לראות היטב גופים רחוקים וקרובים. ההסתגלות מתבצעת בגלל אפשרות טבעית של שינוי הרדיוסים של משטחי עדשת העין, כלומר בגלל התקמרות העדשה.

ב. ככל שעדשת העין מתקמרת יותר, הדמות שנראית בבירור, קרובה יותר לעין.

ג. מרחק הראייה הקצר ביותר, הוא מרחק העין אל הנקודה הקרובה ביותר הנראית בבירור.

ד. התקמרות מירבית מתקיימת עבור מרחק הראייה הקצר ביותר.

ה. 25 ס"מ הוא מרחק הראייה הקצר ביותר לאנשים מבוגרים.

ו. הנקודה הרחוקה ביותר היא הנקודה שבה נראה בבירור עצם המרוחק ביותר מהעין. בעין תקינה מרחק זה הוא אין-סופי.

9. ענה על השאלות שלפניך.

1. למה אנו קוראים הנקודה הקרובה ביותר של העין?

_____

(הנקודה שמעבר לה אין העין מסוגלת לראות בבירור/הנקודה, שלפניה אין העין מסוגלת לראות בבירור).

2. מהי הנקודה הרחוקה ביותר של העין?

_____

(הנקודה שמעבר לה אין העין מסוגלת לראות בבירור/הנקודה שלפניה אין העין מסוגלת לראות בבירור).

3. מה מאפשר לעין למקד תמונה חדה של גופים במרחקים שונים מן העין? _____

(צורות שונות של גלגל העין/דרגות שונות של קימור העדשה).

4. תכונת הקימור של עדשת העין נקראת בשם _____ (מאמץ/הסתגלות).

5. מרחק הראייה הקצר ביותר של אדם מבוגר הוא _____ (25 ס"מ/25 מ').

6. מרחק הראייה הרחוק ביותר של עין תקינה הוא _____ (90 ס"מ/אין-סוף)

7. רוחק המוקד הארוך ביותר של עדשת עין תקינה הוא מעדשת העין עד _____ 7a (מחצית המרחק לרשתית/הרשתית). במצב כזה האדם רואה עצמים _____ 7b (קרובים/רחוקים).

8. ככל שעצם _____ 8a (רחוק/קרוב) יותר לעין, עדשת העין מתקמרת יותר ואז רוחק המוקד שלה _____ 8b (קטן/גדל).

5.ב ליקויי ראייה ותיקוניהם

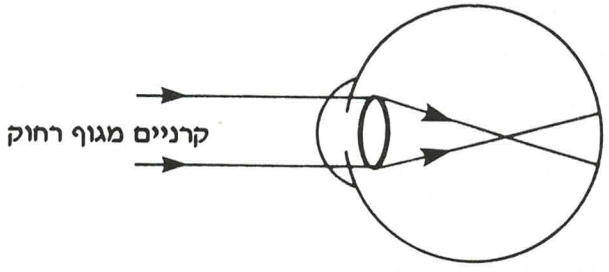
1. אדם שראייתו תקינה, מרכז קרני אור מקבילות על _____ (1) (הרשתית/הקשתית) של גלגל העין.

בראייה למרחקים שונים, עדשת העין מסתגלת לכל טווח המרחקים מ-25 ס"מ ועד אין-סוף. לאדם שעינו אינה מקיימת את התכונות האלה יש ליקויי ראייה. ליקויים אלה נוצרים בגלל הסיבות האלה:

א. העדשה מאבדת עם הגיל את גמישותה ולכן הסתגלותה אינה טובה.

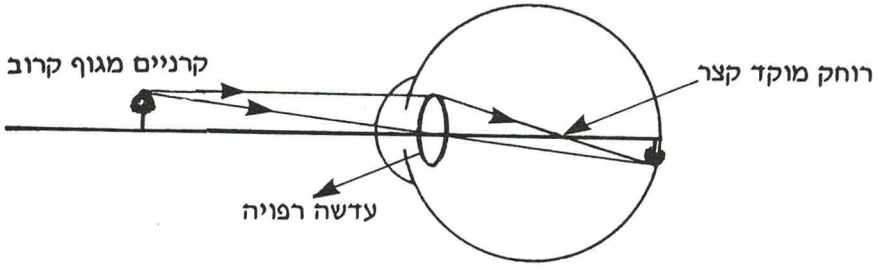
ב. גלגל העין ארוך מדי או קצר מדי כך שהרשתית אינה נמצאת בנקודה שאליה חייבים להתרכז קרני אור מקבילות.

2. ציור 125 מראה עין של אדם קצר ראייה, כאשר עדשת העין נמצאת במצבה הרפוי.



ציור 125: עין קצרת-ראייה

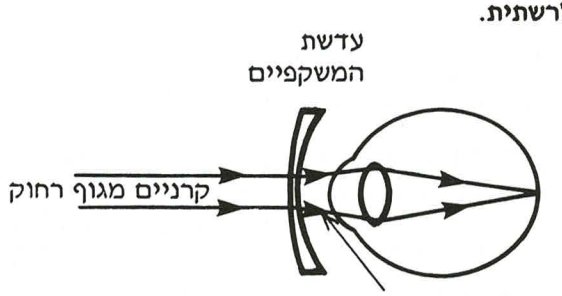
קרניים _____ (1) (מקבילות/מתרכזות) המגיעות מעצם מרוחק מתרכזות _____ (2) (לפני/מאחורי) הרשתית, עקב כך _____ (3) (נוצרת/אינה נוצרת) תמונה חדה על הרשתית. במצב כזה גלגל העין _____ (4) (ארוך/קצר) מדי. בליקוי כזה רוחק המוקד **המירבי** של עדשת העין _____ (5) (גדול/קטן) יותר מאשר המרחק מהעדשה לרשתית. לכן, אפילו כאשר העדשה רפויה, מתקבלות תמונות של גופים קרובים יותר (ציור 126).



ציור 126: דמות ברורה נוצרת מעצם קרוב כאשר העין קצרת רואי

במלים אחרות, עינו של קצר הרואי אינה יוצרת דמויות חדות של גופים _____ (6) (רחוקים/קרובים), אך היא יכולה ליצור דמויות חדות של גופים _____ (7) (רחוקים/קרובים). כדי לפתור את הבעיה של אי ראייה מרחוק יש להרכיב משקפיים שלהם עדשות מפזרות.

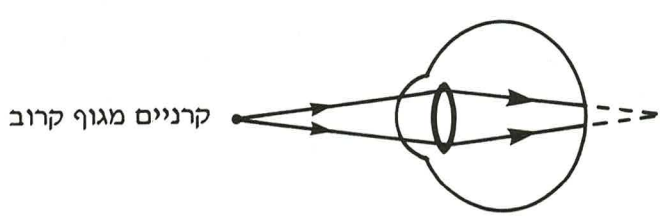
3. בציור 127 מתוארת עין קצרת- ראייה עם עדשת המשקפיים לפניה.
הקרניים המגיעות לעדשה הן קרניים _____ (1)
(מתפזרות/מקבילות). עקב שבירת הקרניים בעדשת המשקפיים, מגיעות
לעדשת העין קרניים כשהן _____ (2) (מפוזרות/מרוכזות).
עדשת המשקפיים מותאמת לעינו של האדם כך, שהקרניים המפוזרות
תתרכזנה עתה על ידי עדשת העין על הרשתית. נקבל דמות ברורה של עצם
רחוק על הרשתית ולא _____ (3) (לפניה/מאחוריה). רוחק המוקד
_____ (4) (המירבי/המזערי) של העין חוזר להיות המרחק בין
העדשה לרשתית.



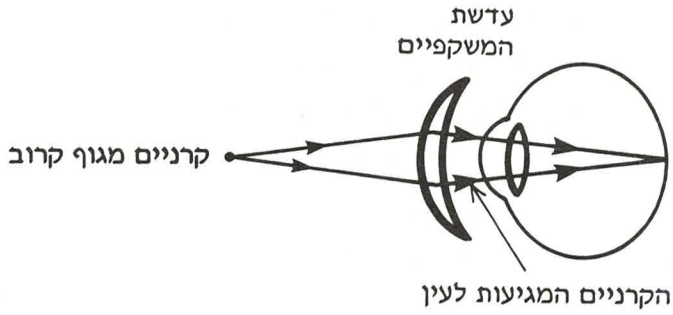
הקרניים המגיעות לעין מתפזרות

ציור 127: משקפיים לאדם קצר ראייה

4. ציור 128 מתאר עין של אדם רחק ראייה. הרשתית של העין הזאת
_____ (1) (קרובה /ארוכה) מדי לעדשת העין. העדשה של אדם
רחק-ראייה יוצרת תמונה של גוף קרוב _____ (2) (לפני/מאחורי)
הרשתית, כפי שעולה מציור 128. אדם רחק ראייה המבקש לראות מקרוב
חייב לאמץ את שרירי העין, כדי לקמר את העדשה. קימור העדשה
_____ (3) (מקטין/מגדיל) את רוחק המוקד והתמונה עשויה להתקבל
על הרשתית. מאמץ מתמיד כזה עלול לגרום לכאבים ולאי נוחות.
כדי לעזור לעין לרכז את הקרניים על הרשתית, יש להציב לפני העין
עדשה _____ (4) (מרכזת/מפזרת).
עדשת המשקפיים _____ (5) (מרכזת/מפזרת) את קרני האור פעם
אחת ועדשת העין _____ (6) (מרכזת/מפזרת) אותן פעם נוספת.
באופן כזה מתקבלת הדמות על הרשתית (ציור 129).



ציור 128: עין רחוקת-ראייה



ציור 129: משקפיים לאדם רחוק-ראייה

לסיכום:

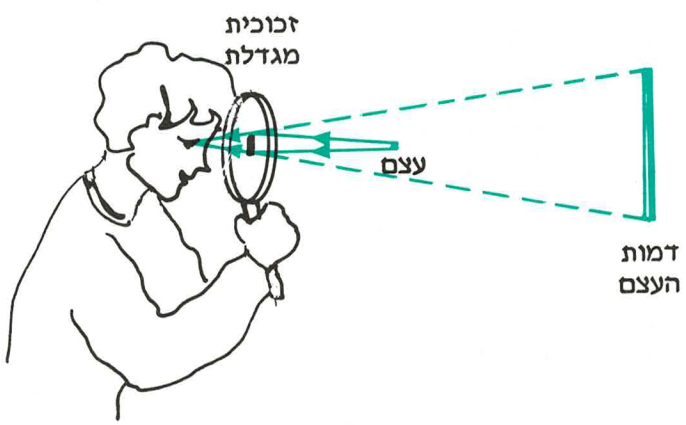
א. לאדם קצר ראייה מתאימים עדשות מפזרות כדי להגדיל באופן מלאכותי את רוחק המוקד של העין, לקבלת דמות של עצמים רחוקים על הרשתית.

ב. לאדם רחק ראייה מתאימים עדשות מרכזות כדי להקטין באופן מלאכותי את רוחק המוקד של העין לקבלת דמויות של עצמים קרובים.

5.ג זכוכית מגדלת

או"ג 24

1. בוודאי הזדמן לך להתבונן בעצמים קטנים מבעד לזכוכית מגדלת. אם לא, קח עדשה מרכזת, שיש לה רוחק מוקד קטן יחסית (קטן מ-25 ס"מ) והתבונן דרכה במלים המודפסות בדף זה. המלים ייראו לך _____ (מוגדלות/מוקטנות). כאשר מתבוננים בעצם כלשהו מבעד לעדשה, המשמשת כזכוכית מגדלת, רואים _____ (את העצם/את דמותו). הדמות הנראית מבעד לעדשה, נמצאת _____ (באותו צד/בצד השני) שלה (ציור 130).
הדמות הזאת היא דמות _____ (מדומה/ממשית), _____ (ישרה/הפוכה), ו_____ (מוגדלת/מוקטנת).
כדי לקבל דמות כזאת, חייב המרחק בין הגוף לבין העדשה להיות _____ (קטן/גדול) מרוחק המוקד של העדשה.
הערה: במקרים רבים משתמשים בשם "זכוכית מגדלת" למרות שהמתקן עשוי חומר פלסטי ולא זכוכית. הדבר דומה "לפח" אשפה המיוצר היום לרוב מחומר פלסטי ולא מפח.



ציור 130: התבוננות בעצם דרך זכוכית מגדלת

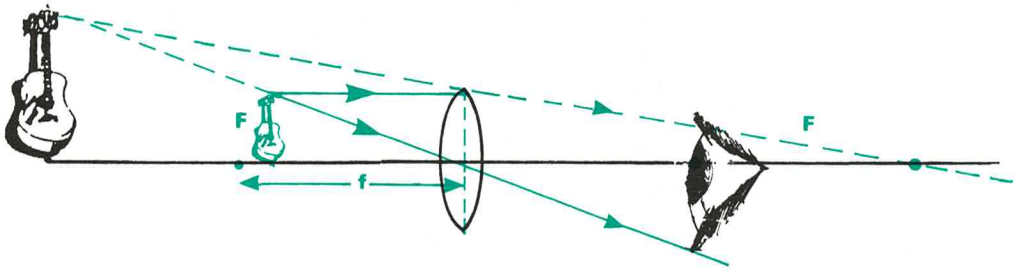
זכוכית מגדלת היא עדשה מרכזת שבה נראית דמותו המדומה של עצם המונח לפני המוקד.

או"ג 25

2. קח כעת שתי זכוכיות מגדילות בעלות רוחקי מוקד שונים. התבונן דרך כל אחת מהן במלים המודפסות בדף. ציין איזו משתיהן מגדילה יותר? העדשה בעלת רוחק המוקד _____ (הארוך/הקצר) מגדילה יותר.
את ההגדלה M של זכוכית מגדלת מקבלים על ידי חישוב היחס בין מרחק הראייה הקצר ביותר (הנחשב ל-25 ס"מ) לבין רוחק המוקד f של העדשה (ציור 131):

$$M = \frac{25}{f}$$

f הוא רוחק המוקד של העדשה, המבוטא בסנטימטרים. נוסחת ההגדלה של המגדלת מראה: ככל שרוחק המוקד קטן, ההגדלה _____ (גדלה/קטנה).



ציור 131: זכוכית מגדלת. ההגדלה היא היחס $\frac{25}{f}$

3. השתמש בנוסחה האחרונה ומצא פי כמה מגדילה זכוכית מגדלת שרוחק המוקד שלה הוא 5 ס"מ.

תשובה: $M = \frac{25}{___} =$ _____

(התשובה היא אחד מן המספרים האלה: 2.5, 5, 25).

4. זכוכית מגדלת מגדילה פי 6.25. מהו רוחק המוקד שלה?

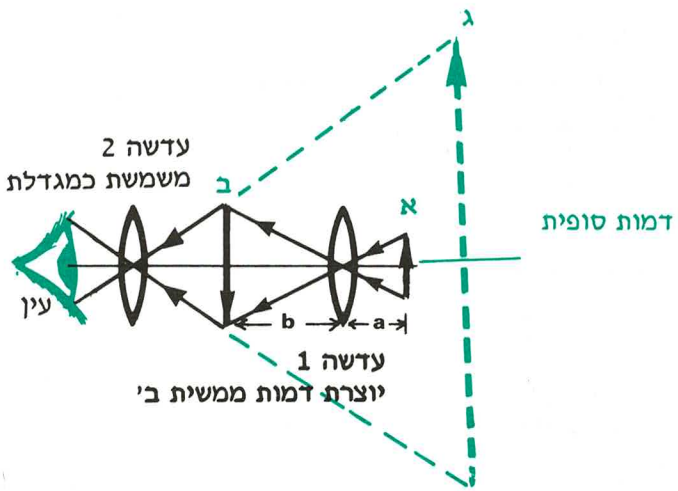
תשובה: כאן ידוע ערכו של M ואילו f הוא הנעלם. על פי נוסחת ההגדלה נקבל:

$f = \frac{25}{M} = \frac{25}{___} =$ _____ ס"מ

(התשובה המספרית היא אחד מן הערכים האלה: 4, 5, 6.25).

5.ד מיקרוסקופ

1. במקום להסתכל על עצם קטן ישירות דרך זכוכית מגדלת, אפשר להסתכל על דמותו הממשית של העצם. הדמות היא מוגדלת ונוצרת על ידי עדשה הנמצאת בקרבת הגוף. לשם כך צריך מבנה אופטי של המערכת, הכוללת שתי עדשות מרכזות המתואר בציור 132.



ציור 132: דמות הנוצרת במיקרוסקופ

העצם שמסתכלים בו מסומן בציור 132 באות א, הוא נמצא במרחק _____ (b/a) מעדשה 1. עדשה 1 יוצרת דמות ממשית _____ (א/ב/ג) של העצם. זוהי דמות _____ (מוגדלת/מוקטנת) של העצם. עדשה 2 משמשת כזכוכית מגדלת. העצם עבור עדשה 2 הוא הדמות _____ (הממשית/המדומה) _____ (א/ב/ג). הדמות הזו היא כבר _____ (גדולה/קטנה) מעצם א. הדמות, שהעין שלנו רואה דרך עדשה 2 היא _____ (א/ב/ג). זוהי הדמות הסופית. כיון שהדמות הסופית היא תמונה של _____ (א/ב/ג), שהיא עצמה _____ (גדולה/קטנה) מהעצם עצמו, אנחנו מקבלים הגדלה גדולה יותר מאשר בעזרת זכוכית מגדלת בלבד. צירוף כזה של עדשות נקרא בשם: **מיקרוסקופ.**

עדשה 1 נקראת בשם: "**אובייקטיב**" (עצמית). עדשה 2 (הקרובה לעין) נקראת בשם: "**אוקולר**" (עינית).

אם רוחק המוקד של עדשה 1 הוא f_1, באיזה מרחק מעדשה 1 צריך להימצא עצם א? _____ (פחות מ-f_1/בין f_1 ל-$2f_1$/יותר מ-$2f_1$). לצורך התשובה תוכל להיעזר בטבלה שהשלמת בסוף פרק 4.ב.16.

תפקיד עדשה 2 הוא תפקיד של זכוכית מגדלת. אם רוחק המוקד של עדשה 2 הוא f_2, באיזה מרחק מעדשה 2 צריכה להימצא דמות ב?

(11) _____ (פחות מ-f_2/בין f_2 ל-$2f_2$/יותר מ-$2f_2$). לצורך התשובה תוכל להיעזר בסעיף הדן בזכוכית מגדלת.

האם התמונה הסופית, הנראית דרך המיקרוסקופ, היא תמונה ממשית או מדומה? (12) _____ (ממשית/מדומה). ישרה או הפוכה? (13) _____ (ישרה/הפוכה).

2. ביטוי מקורב להגדלה של מיקרוסקופ הוא הביטוי:

$$M \approx \frac{L \times R}{f_1 \times f_2}$$

כאשר M - ההגדלה (כלומר: פי כמה נראית הדמות הסופית של העצם גדולה יותר מאשר העצם עצמו ללא המכשיר)

L - מרחק הראייה הקצר ביותר (בדרך כלל, 25 ס"מ)

R - אורך המיקרוסקופ (המרחק בין שתי העדשות)

f_1 - רוחק המוקד של האובייקטיב

f_2 - רוחק המוקד של האוקולר.

3. מהי ההגדלה של מיקרוסקופ בעל הנתונים האלה:

אורך מוקד האובייקטיב - 10 מ"מ; אורך מוקד האוקולר - 25 מ"מ; המרחק בין העדשות 18 ס"מ?

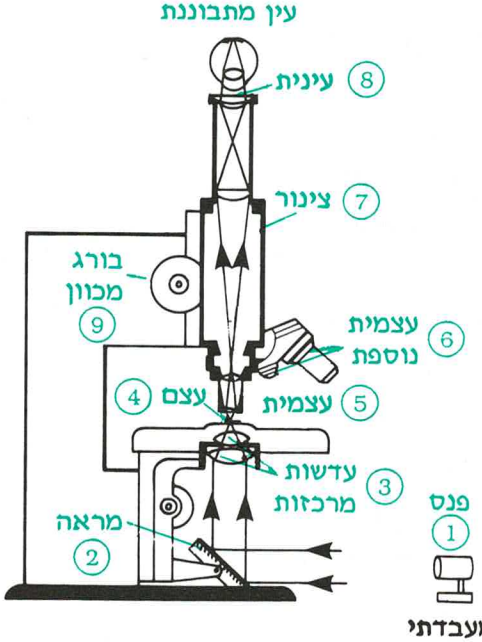
שים לב! עליך להשתמש **באותן יחידות** כשאתה מציב את המספרים בנוסחה.

(1)

תשובה: _____

(התשובה צריכה להיות אחד מן המספרים האלה: 100, 180, 800).

4. נראה כיצד משתלבת המערכת האופטית, המתוארת בסעיפים הקודמים, במיקרוסקופ מעבדתי, המתואר בציור 133.



ציור 133: מיקרוסקופ מעבדתי

בציור 133 אפשר להבחין בשלוש תת-מערכות עיקריות:

א. מערכת התאורה

ב. מערכת הגוף הנבדק

ג. מערכת המיקרוסקופ.

5. מערכת התאורה

א. מערכת התאורה מורכבת מרכיבים _____ (1,2,3/4,5,6). (1)
פרט את הרכיבים: _____

_____

ב. לשם מה דרושה מערכת התאורה? _____ (2)

_____

(כדי להעביר אור חזק דרך העצם, כך שייראה שקוף/כדי שההגדלה הגדולה של המיקרוסקופ המעבדתי לא תגרום לירידה בבהירות התמונה).

6. מערכת הגוף הנבדק

א. העצם מונח על לוח זכוכית דק ושקוף. המרחק של העצם מן העצמית _____ (3) (גדול/קטן) מרוחק המוקד של העצמית (התשובה נמצאת בסעיף 5.ד.1).

ב. כדי שהאור יעבור דרך העצם ויכנס לתוך המיקרוסקופ, צריך העצם להיות _____ (4) (דק מאוד/ישר/הפוך).

7. א. מערכת המיקרוסקופ מורכבת מרכיבים _____ (5) (1,2,3/4,5,6/5,7,8).
פרט את הרכיבים _____ (6)

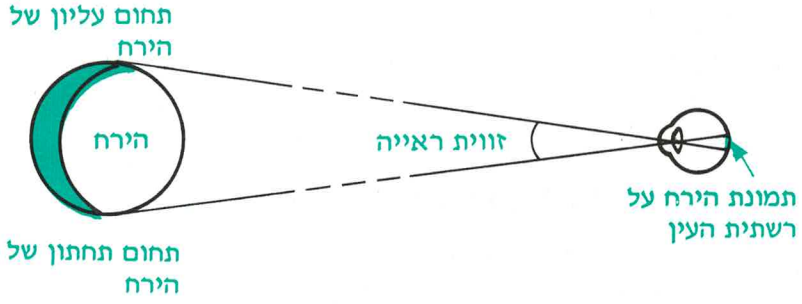
ב. רכיב 6 הוא _____ (7) (בורג מכוון/עוד עצמית) ואפשר לסובבו כך שיתחלף עם רכיב 5. אם רוחק המוקד של רכיב 6 ארוך מזה של רכיב 5, יש צורך _____ (8) (להגביה/להנמיך) את צינור המיקרוסקופ לעומת העצם. במקרה זה _____ (לא תשתנה/תקטן/תגדל) ההגדלה של המיקרוסקופ.

ג. תפקידו של רכיב 9, _____ (9) (צינור המיקרוסקופ/הבורג המכוון), הוא _____ (10) (להגביה או להנמיך את המיקרוסקופ לעומת העצם/להחליף את העצמיות השונות, שיש למיקרוסקופ). פעולה זאת חשובה כדי _____ (11)

(לשנות את ההגדלה של המיקרוסקופ/לקבוע מרחק מדויק בין העצם לעצמית, כדי שהתמונה הסופית תיראה חדה לעין המתבוננת).

5.ה טלסקופ

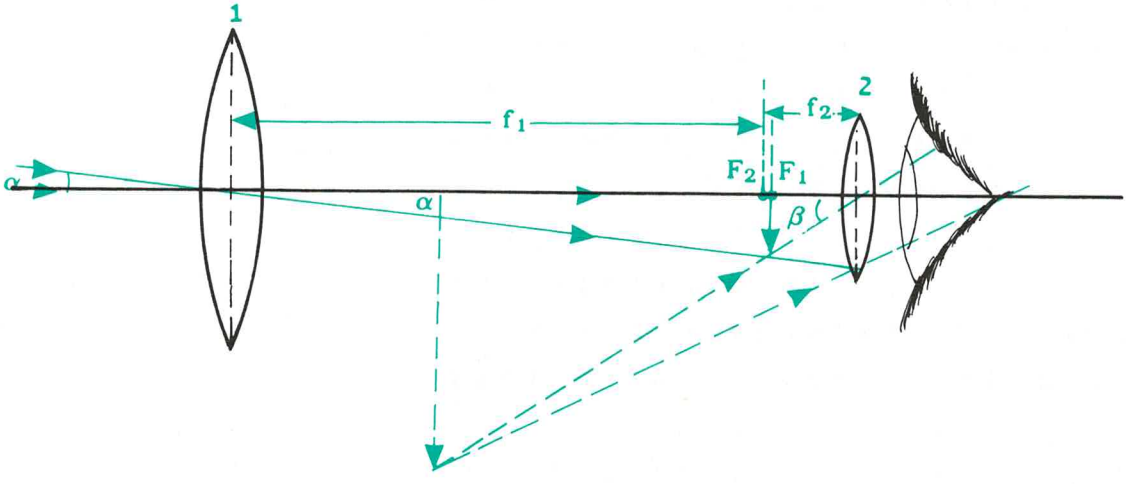
1. כאשר משתמשים בטלסקופ, כדי לראות גרמי שמים (כגון הירח וכוכבי הלכת), מסתכלים, למעשה, בעצמים גדולים מאוד. הירח - קוטרו כ-3500 ק"מ. על פני הירח נמצאים מכתשים ורכסי הרים באורך של עשרות ושל מאות קילומטרים. אף על פי כן, כשמתבוננים בירח בלי מכשיר עזר, אין אנו מבחינים בפרטים כלל. הסיבה היא המרחק הגדול של הירח מאתנו. עקב המרחק הזה נראה לנו הירח בזווית ראייה קטנה. זווית ראייה היא זווית שקודקודה בעין ושוקיה תוחמים את העצם הנצפה.



ציור 134: צפייה בירח

כשזווית הראייה של גוף היא קטנה, תהיה התמונה, הנוצרת ממנו על הרשתית בעין קטנה, ולכן לא נוכל להבחין בפרטים. מטרת הטלסקופ היא להגדיל את תמונת העצמים על הרשתית, כדי שנראה אותם יותר מפורטים. במלים אחרות: מטרת הטלסקופ היא להגדיל את _____ (הרשתית/העין/זווית הראייה) שהירח נראה בה. 1

וכך עושה זאת הטלסקופ:



ציור 135: מבנה אופטי של טלסקופ

2. מבנה הטלסקופ

התבונן בציור 135. הטלסקופ מורכב משתי עדשות. בדומה למיקרוסקופ נקראת העדשה הקרובה יותר לעצם בשם: _____ (אובייקטיב/אוקולר), והעדשה הקרובה יותר לעין נקראת בשם _____ (אובייקטיב/אוקולור). העצמים הנצפים בטלסקופ רחוקים מאתנו מאוד. לכן, עדשת העצמית יוצרת מהם דמות ממשית כמעט _____ _____ (במרכז העיקום/במרכז הטלסקופ/במוקד האוקולר/במוקד עדשת האובייקטיב F_1). על הדמות הזאת (דמות הביניים בציור 135) מתבוננים דרך האוקולר (העינית) כאשר היא מהווה זכוכית מגדלת פשוטה (העצם לפני המוקד F_2), שנותנת תמונה סופית מוגדלת. הזווית שבה נראית התמונה הסופית לעין היא הזווית _____ (β/α). הזווית β _____ (גדולה/קטנה) מן הזווית α, ולכן יש כאן הגדלה. אם נתבונן דרך טלסקופ למשל בירח דמותו תיראה _____ (מוגדלת/מוקטנת).

היחס בין הזוויות β ו-α או המנה β/α מראה פי כמה גדולה דמותו של הירח על רשתית העין עם הטלסקופ, לעומת גודלה של הדמות בלי הטלסקופ, ולכן זו ההגדלה של הטלסקופ.

נסכם:

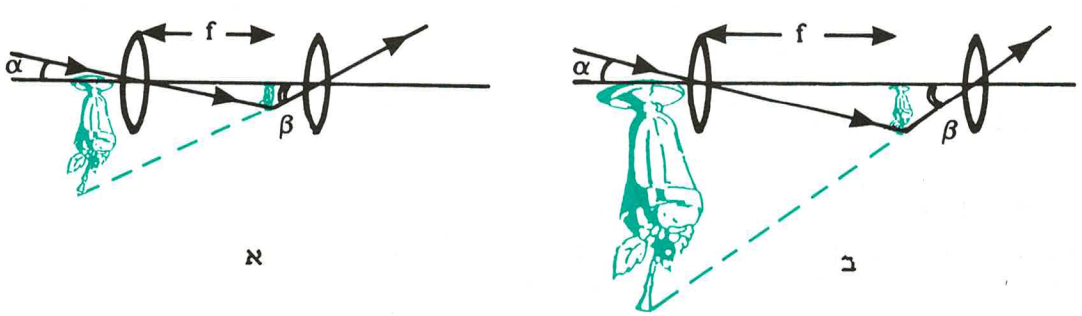
ההגדלה של טלסקופ היא מנת הזוויות:

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

לכן קוראים להגדלה זו בשם: הגדלה זוויתית.

3.

מציור 135 רואים כי המרחק של תמונת הביניים מן האובייקטיב שווה ל_____ (אורך הטלסקופ/חצי אורך הטלסקופ/רוחק המוקד של האובייקטיב). לכן, ככל שרוחק המוקד של האובייקטיב גדול, תהיה תמונת הביניים _____ (קטנה יותר/גדולה יותר/באותו גודל). ככל שתמונת הביניים גדלה, הזווית _____ (β/α) גדלה ולכן ההגדלה M _____ (גדלה/קטנה). את העובדה שתמונת הביניים גדלה ככל שרוחק המוקד _____ (גדל/קטן) נוכל לראות על ידי ההשוואה של שני הטלסקופים שבציור 136.



ציור 136: שני טלסקופים בעלי רוחקי מוקד שונים

.3

לגבי ראיית גוף שמימי כלשהו, הזווית α קבועה, כי אין אנו יכולים לקרב את הגוף אלינו. לעומת זאת, אנו יכולים להשתמש בעצמיות (אובייקטיבים) בעלות רוחקי מוקד שונים. בטלסקופ ב' שבציור 136 יש אובייקטיב בעל רוחק מוקד _____ (קצר/ארוך) יותר מזה שבטלסקופ א'. לכן תמונת הביניים בטלסקופ ב' _____ (קטנה/גדולה) מזו שבטלסקופ א'.

נסכם:
הגדלת הטלסקופ גדלה ככל שרוחק המוקד של האובייקטיב גדול יותר.

4. העינית היא המגדלת שמסתכלים בה על דמות הביניים. התמונה הסופית, הנראית מבעד לאוקולר (לא התמונה בתוך העין) היא תמונה _____ (ממשית/מדומה). לכן דמות הביניים חייבת להימצא _____ (בתוך המוקד/מחוץ למוקד) של האוקולר. האוקולר, כמגדלת, מגדיל יותר, ככל שרוחק המוקד שלו _____ (גדול/קצר) יותר.

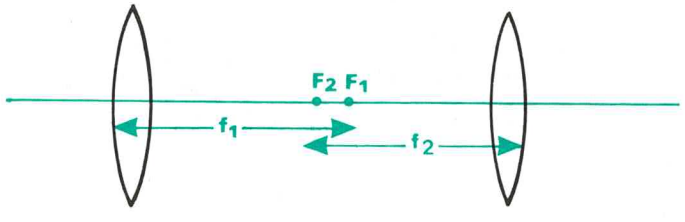
נסכם:
הגדלת הטלסקופ גדלה ככל שרוחק המוקד של האוקולר גדול יותר.

5. הביטוי המתמטי להגדלה הזוויתית של טלסקופ, המתאים לשני הסיכומים הקודמים הוא:

$$M = \frac{f_1}{f_2}$$

כאשר M – ההגדלה הזוויתית של הטלסקופ
f_1 – רוחק המוקד של האובייקטיב
f_2 – רוחק המוקד של האוקולר.

מן הנוסחה רואים: ככל ש-f_1 גדל, M _____ (יגדל/יקטן) וככל ש-f_2 קטן, M _____ (יגדל/יקטן).



ציור 137: ההגדלה של טלסקופ היא היחס שבין רוחק המוקד של האובייקטיב לזה של האוקולר

6. יש לבנות טלסקופ המגדיל פי 40. מה צריך להיות רוחק המוקד של האובייקטיב, אם משתמשים באוקולר בעל רוחק מוקד של 2 ס"מ?

תשובה: מנוסחת ההגדלה של טלסקופ מקבלים:

$f_1 = M \times f_2 =$ _____ × _____ = _____ ס"מ (1) (2) (3)

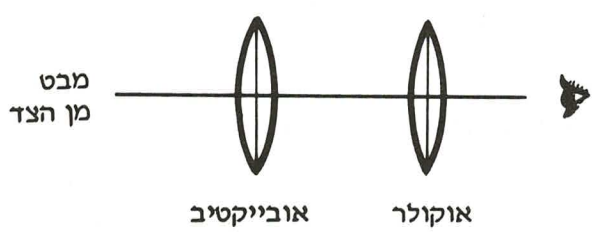
7. תוכל לבנות טלסקופ פשוט בקלות. בחר שתי עדשות מרכזות, בעלות רוחקי מוקד שהיחס שלהם יתן הגדלה גדולה. הצב אותן אחת אחר האחרת, כאשר זו הרחוקה מהעין תהיה בעלת רוחק המוקד הגדול יותר. כוון את המערכת לעצם רחוק (בניין, עץ וכדומה). שנה את המרחק של האוקולר מן האובייקטיב עד שתיראה דמות חדה ככל האפשר של העצם. חשוב להקפיד, שהעדשות תהיינה בניצב לציר האופטי, (ציור 138).

אפשר להרכיב את העדשות בקצות שני צינורות הנכנסים זה לתוך זה כך שאפשר לשנות את האורך הכללי של הטלסקופ עד למיקוד התמונה.

מהי הגדלת הטלסקופ שבנית?

תשובה: בחרתי _____ (1) ס"מ = f_1, _____ (2) ס"מ = f_2

ולכן ההגדלה היא: $M = \frac{___}{___} =$ _____ (3)



ציור 138: מבנה של טלסקופ פשוט לאובייקטיב רוחק מוקד גדול מאשר לאוקולר

8. האם התמונה הנראית בטלסקופ, היא ישרה או הפוכה? _____ (1). תכונה זו אינה מפריעה בשעה שמסתכלים בגרמי שמים. אבל, אם רוצים לכוון את הטלסקופ לגופים שעל-פני הארץ (כדוגמת בניינים רחוקים, אניות בלב ים, או כל גוף אחר) תהיה בכך הפרעה של ממש.

הסבר מדוע: _____ (2)

_____

נסכם:

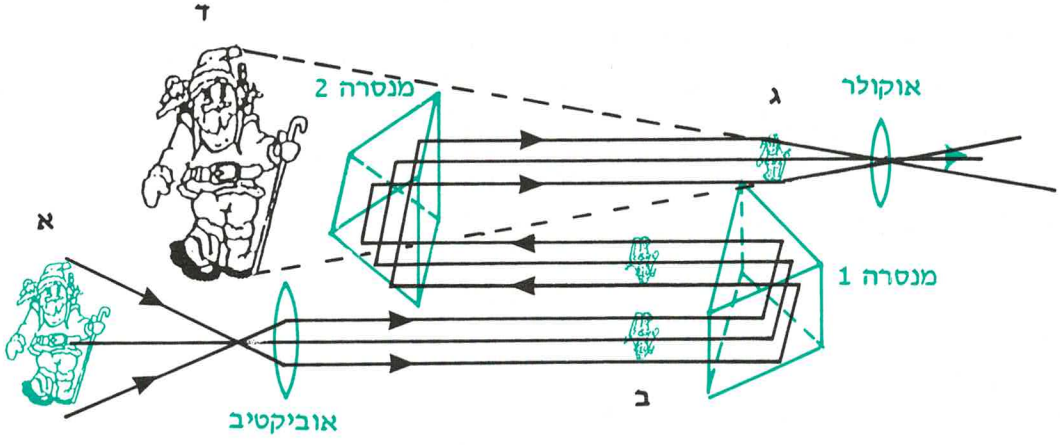
הגדלת טלסקופ היא היחס בין רוחק המוקד של האובייקטיב f_1 לזה של האוקולר f_2;

$$M = \frac{f_1}{f_2}$$

1.5 משקפת שדה

1. קיימות שיטות אחדות **ליישר** את הדמות הממשית הנוצרת על ידי עדשת האובייקטיב. יישור זה של הדמות מביא לכך שהתמונה הסופית היא דמות ישרה של העצם הנצפה. טלסקופ שבו מקבלים דמות מוגדלת **ישרה** נקרא **משקפת**.

אחת השיטות המקובלות ליישור הדמות מבוססת על החזרה פנימית שלמה, בעזרת מנסרות, כמתואר בציור 139.



ציור 139: משקפת שדה (משקפת מנסרות)

2. ציור 139 מתאר את המבנה האופטי של "משקפת המנסרות", הידועה יותר בשמה - "**משקפת שדה**". אפשר לראות בציור, שכל קרן, במהלכה מהאובייקטיב לאוקולר, עוברת _____ (4/2/1) החזרות פנימיות שלמות. הקרניים, המגיעות מהעצם (המסומן באות א') נשברות בעדשת האובייקטיב. העצם א' שמתבוננים בו נמצא רחוק. הוא נמצא במרחק העולה על רוחק המוקד של האובייקטיב. לפיכך, התמונה שהוא היה יוצר, צריכה להיות _____ (ישרה/הפוכה). ואמנם, הדמות ב' שבציור 139 היא הפוכה.

ההחזרה הפנימית הגמורה שבמנסרה 1 יוצרת שוב דמות _____ (הפוכה/ישרה) עבור מנסרה 2.

במנסרה 2, מהלך הקרניים הוא כזה, שהקרן העוברת דרך תחתית הדמות ההפוכה, הופכת להיות קרן עליונה והקרן העליונה הופכת קרן תחתית. משום כך דמות ב' _____ (נהפכת/נשארת כמות שהיא) והופכת להיות דמות ישרה ג'.

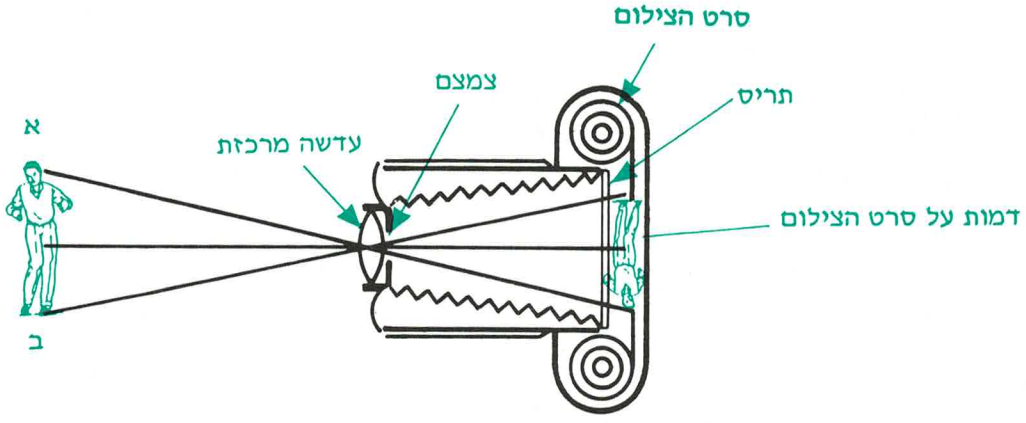
3. האוקולר משמש כזכוכית מגדלת עבור הדמות _____ (הישרה/ההפוכה) _____ (ב'/ג'). למדנו כי אחת מן התכונות של זכוכית מגדלת היא ליצור תמונה _____ (ישרה/הפוכה) של

הגוף, שאליו היא מכוונת. לכן התמונה הסופית, שהעין רואה, היא התמונה _____ (א/ב/ג/ד), וזו תמונה _____ (ישרה/הפוכה), כנדרש במשקפת שדה.

4. בנוסף ליישור הדמות הסופית, משקפת השדה "מקפלת" את קרני האור. כך היא מאפשרת להשתמש בעדשות אובייקטיב ארוכות-מוקד גם כשהמשקפת קצרה. המהלך האופטי של הקרניים ארוך כמעט פי שלושה מאורך המשקפת. המשקפת מורכבת משני טלסקופים מקבילים כאלה - אחד לכל עין.

5.ז מצלמה

1. ציור 140 מתאר את המרכיבים החיוניים למצלמה פשוטה:

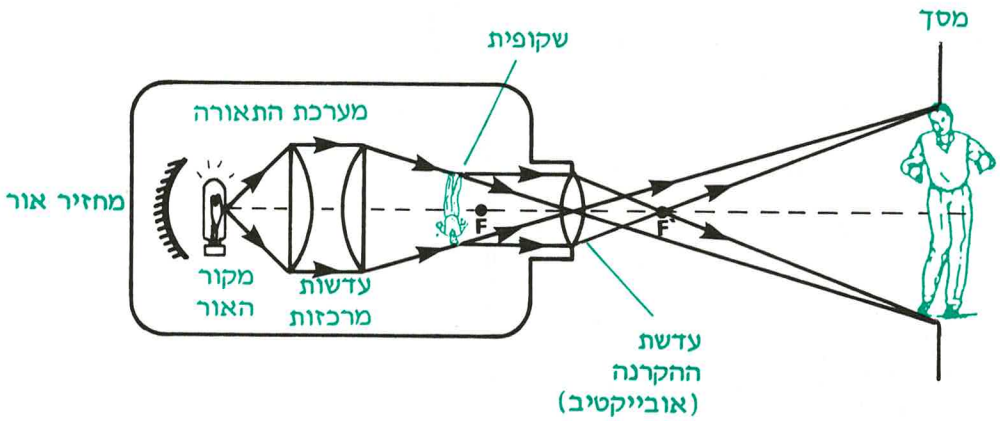


ציור 140: מרכיבים עיקריים של מצלמה פשוטה

המצלמה היא תיבה אטומה לאור, חוץ ממיפתח יחיד בו מרכיבים עדשה (1) _____ (מפזרת/מרכזת). מול העדשה, בצדה האחורי של המצלמה, נמצא (2) _____ (העצם/סרט הצילום). כשהמצלמה אינה מצלמת, תריס אטום לאור אינו מאפשר לקרני האור להגיע אל (3) _____ (העדשה/סרט הצילום). בשעה שלוחצים על הדק המצלמה, נפתח התריס לחלקיק של שנייה. ואז מתקבלת תמונת (4) _____ (העדשה/העצם) על הסרט. תפקיד הצמצם למנוע מכמות אור רבה מדי להגיע אל סרט הצילום. העצם המצולם נמצא לרוב מעבר לפעמיים המוקד של עדשת המצלמה. לכן הדמות הנוצרת היא (5) _____ (ממשית/מדומה), (6) _____ (ישרה/הפוכה) (5) _____ (ומוקטנת/ומוגדלת). כמות האור, המגיעה לסרט הצילום בחלקיק השנייה הזה, מספיקה כדי שהדמות תודפס על סרט הצילום. לאחר שמפתחים את סרט הצילום בחומרים כימיים, אפשר להדפיס ממנו תמונות.

5.ח מקרן שקופיות

1. המערכת האופטית של מקרן שקופיות מתוארת בציור 141.



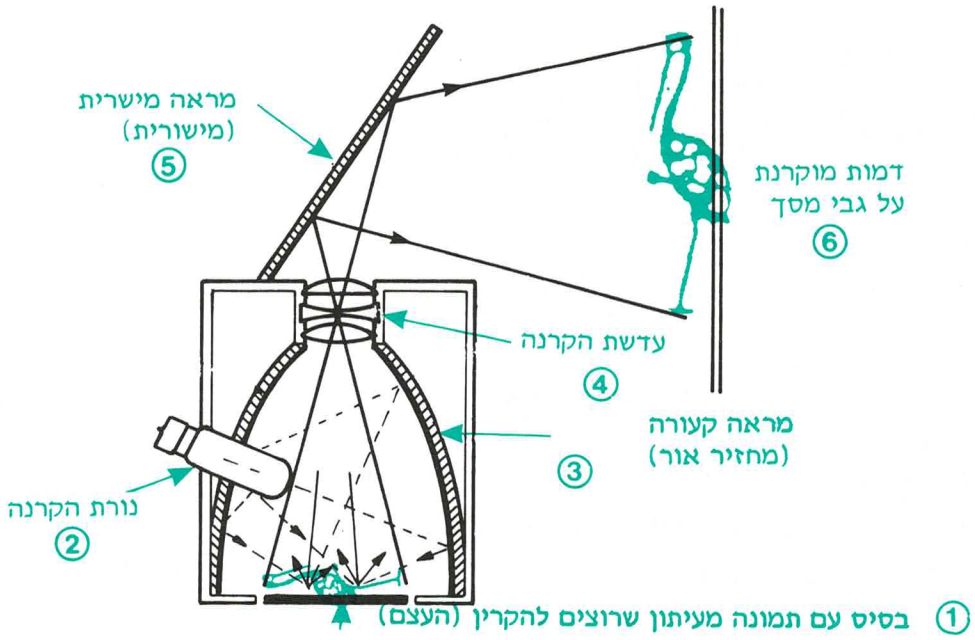
ציור 141: המערכת האופטית של מקרן שקופיות

התבונן בציור: 141. במקרן השקופיות מקבלים דמות (1) _____ (ממשית/מדומה) של שקופית על מסך. זאת, בעזרת עדשת הקרנה (2) _____ (מרכזת/מפזרת). השקופית היא גוף (3) _____ (שקוף/אטום), שדרכו עובר אור היוצא (4) _____ (ממערכת התאורה/מהמסך). התמונה המתקבלת על המסך (5) _____ (גדולה/קטנה) מהשקופית. את השקופית יש להכניס למקרן כשהיא (6) _____ (ישרה/הפוכה), כי הדמות שיוצרת העדשה על המסך, תהיה דמות (7) _____ (ישרה/הפוכה) של העצם. כדי להשיג הגדלה של הדמות והיפוכה חייבת השקופית להימצא (8) _____ (9) _____ (בין העדשה לבין המוקד/בין המוקד לשתי פעמים המוקד/רחוק משתי פעמים רוחק המוקד) של העדשה. כמו-כן חייבת השקופית להיות מוארת היטב, כדי לתת תמונה בהירה על המסך.

2. התבונן שוב בציור 141. מערכת התאורה מורכבת ממקור אור, זוג עדשות מרכזות (1) _____ (ומחזיר אור/ואובייקטיב/ומסך). זוג העדשות מרכז את האור, הבא מן המקור (2) _____ (על המסך/על השקופית/על עדשת האובייקטיב/על מוקד האובייקטיב). כך משתתף מירב האור ביצירתה של הדמות (התמונה) הסופית על המסך.

5.ט אפיסקופ (מקרן תמונות)

1. האפיסקופ הוא מכשיר המיועד להקרין תמונות מעיתון, מתוך ספר ועוד, תמונות אלה מוקרנות על מסך כשהן מוגדלות. לפניך (ציור 142) תיאור סכמטי של מכשיר האפיסקופ.



ציור 142: אפיסקופ (מקרן תמונות)

חלקי האפיסקופ:

א. מערכת תאורה של הגוף. היא מורכבת מחלקים _____ (1)
(3,2/3,2,1). פרט את הרכיבים: _____ (2)
_____ (3)

ב. עדשת ההקרנה _____ (4) (5/4)

ג. מראה _____ (5) (6/5), הנטויה בזוית 45°, השולחת את קרני האור לעבר _____ (6) (המכשיר/הגוף/המסך).

האור הנשלח מן הנורה, מוחזר פעמים רבות מן המחזיר אור, עד שהוא פוגע בתמונה (בעצם) שאותה רוצים להקרין. הקרניים, העוברות מן העצם דרך העדשה, פוגעות תחילה _____ (7) (במראה 5/במסך 6) ומשם מגיעות למקום התמונה הסופית.

התבונן בציור 142 ועקוב אחר קרני האור היוצאות מהעצם. קרן אור היוצאת מראש העצם מגיעה _____ (8) (לראש/לתחתית) המסך, וכך הדמות הסופית היא ישרה. אפשר לשפר את יעילותו של המכשיר:

א. בתכנון נכון של מחזיר האור.

ב. בשימוש בעדשה _____ (9) (רחבה/קטנה) ושקופה מאוד כדי שתעביר כמות אור _____ (10) (רבה/מועטה).

5.י נורה ופנס קדמי של מכונית

1. תפקידו של הפנס הקדמי במכונית הוא להאיר את השטח משני צדי המכונית ואת השטח שלפניה.

מדוע מצויד הפנס במחזיר אור פרבולי? _____ (1)

(כדי לפזר את האור/כדי לרכז את האור).

מדוע צריך להימצא חוט הלהט של הנורה במוקד של מחזיר האור? (2)

_____

(כדי לקבל אלומת אור מקבילה למרחוק/כדי לקבל אלומת אור המתפזרת על שטח רחב).

מדוע חייב חוט הלהט להיות קטן ככל האפשר? _____ (3)

_____ (4)

(כדי להיות קרוב ככל האפשר למוקד מחזיר האור/כדי להגיע לטמפרטורה גבוהה ככל האפשר).

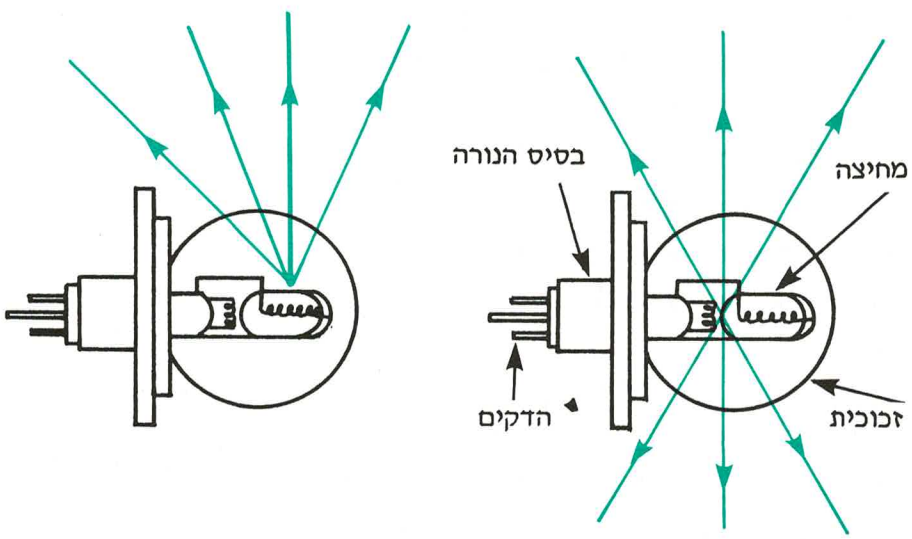
כיצד מפזרים את האור ימינה ושמאלה מן הפנס בזכוכית הקדמית של הפנס? הזכוכית אינה חלקה, אלא עשויה בגלים בעובי שונה. התכונה הזאת גורמת לאור להתפזר,כי _____ (5)

_____

(זכוכית בעובי משתנה שוברת אור בכיוונים שונים/חוט הלהט של הנורה נמצא במוקד הזכוכית).

האם פיזורו של האור גורם להחלשתו בכיוון הקדמי? _____ (6)

_____ (7) (לא, כי כמות האור אינה משתנה/כן, כי מעט מהאור מופנה לצדדים).

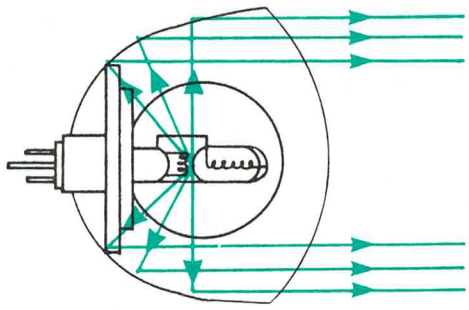


א. אור רחוק וחזק ב. אור עמום וקרוב

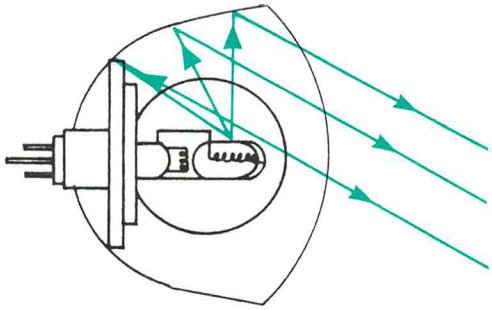
ציור 143: מהלך קרני האור ללא מחזיר אור

2. רוב הנורות של הפנסים הקדמיים במכוניות, מורכבות משני חוטי להט וממחיצה פנימית, כמתואר בציור 143.

חוט הלהט לאור חזק ורחוק ממוקם במוקד מחזיר האור. חוט הלהט לאור נמוך נמצא כמה מילימטרים מחוץ למוקד ומעט יותר גבוה, כמתואר בציור 144.



א. כיוון האלומה באור חזק (אור גבוה)



ב. כיוון האלומה באור עמום (אור נמוך)

ציור 144: שני חוטי הלהט בפעולתם בפנס

המחיצה האטומה לאור נמוך שנמצאת בנורה, נמצאת בחלקה התחתון. ללא המחיצה היה האור מגיע מחוט הלהט גם לחלק (1) _____ (והעליון/התחתון) של מחזיר האור (ציור 144ב'). משם היה חוזר כלפי (2) _____ (מעלה/מטה), ובזה הנהג אינו מעוניין.

חוט הלהט לאור נמוך נמצא מעט מעל הציר האופטי ולא מתחתיו, כי רק כך תחזור ממנו אלומת האור (3) _____ (קדימה ולמטה אל הכביש/ ישר קדימה).

העובדה, שחוט הלהט נמצא מחוץ למוקד ולא בדיוק במוקד גורמת לאור (4) _____ (לנוע כמעט באלומה מקבילה/להתפזר לכל הכיוונים). חוט הלהט השני (ציור 144 א) הדולק באור גבוה, נמצא (5) _____ (6) _____ (מעל הציר האופטי של מחזיר האור/ממש במוקד מחזיר האור). הוא איננו מצויד במחיצה, כי (7) _____

_____

(הוא צריך לשלוח את מירב האור למרחק רב קדימה, ולא רק קרוב למכונית/אין מקום לשתי מחיצות בתוך הנורה).

סיימת לעבוד על פרק 5. ענה על שאלות הסיכום שלפניך. פנה לרשימת היעדים שבתחילת הפרק, ובדוק אם אכן הושגו יעדים אלה.

1. תאר את תופעת ההסתגלות של העין.

2. מהי הנקודה הקרובה של העין והנקודה הרחוקה ביותר שלה?

3. הסבר את ליקוי הראייה של "קצר ראייה" וכיצד מתקנים זאת.

4. הסבר את ליקוי הראייה של "רחק ראייה" וכיצד מתקנים זאת.

5. היכן מוצב העצם בזכוכית מגדלת? תאר את תכונות הדמות הנוצרת בעזרתה.

6 במה תלויה ההגדלה של זכוכית מגדלת?

7. מהם תפקידי האובייקטיב והאוקולר במיקרוסקופ?

8. במה תלויה ההגדלה של מיקרוסקופ וכיצד?

9. מהי הגדלה זוויתית? במה היא תלויה כשמדובר בטלסקופ?

10. כיצד תבנה טלסקופ פשוט?

11. על פי איזה עיקרון בנויה משקפת שדה?

12. תאר את תכונות הדמות הנוצרת בסרט צילום שבמצלמה.

13. היכן וכיצד יש להעמיד את השקופית במקרן שקופיות? מדוע?

14. כיצד מתקבלת הדמות הנוצרת במכשיר האפיסקופ?

15. כיצד מקבלים אור רחוק וחזק בפנס קדמי של מכונית?

16. כיצד מקבלים אור עמום קרוב בפנס קדמי של מכונית?

החומר ידוע היטב? פנה למורה להפניה לדפי חזרה על פרק 5 לקראת המבחן.

ב ה צ ל ח ה ! !